

**MÉTODO HEURÍSTICO
PARA EL BALANCE DE LÍNEAS DE ENSAMBLE
CON CONSIDERACIONES ERGONÓMICAS**



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DOCTORADO EN INGENIERÍA
ÁREA DE INDUSTRIAL



**MÉTODO HEURÍSTICO
PARA EL BALANCE DE LÍNEAS DE ENSAMBLE
CON CONSIDERACIONES ERGONÓMICAS**

AUTORA:

EMILSY ROSIO MEDINA CHACÓN

TUTORA:

DRA. RUTH ILLADA GARCIA

BÁRBULA, NOVIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DOCTORADO EN INGENIERÍA
ÁREA INDUSTRIAL

**MÉTODO HEURÍSTICO
PARA EL BALANCE DE LÍNEAS DE ENSAMBLE
CON CONSIDERACIONES ERGONÓMICAS**

AUTORA:

EMILSY ROSIO MEDINA CHACÓN

Trabajo presentado ante el área de Estudios de
Postgrado de la Universidad de Carabobo para
optar al título de Doctor en Ingeniería.

BÁRBULA, NOVIEMBRE 2014

AGRADECIMIENTOS

A Dios en primera instancia

A mis padres, mi esposo y mis hijos

A la ilustre institución de la Universidad de Carabobo

A mi incondicional tutora Ruth Illada, gran profesional y mejor persona

A todos los profesores del programa del Doctorado de Ingeniería Industrial

A todos mis compañeros de clase en esta larga trayectoria que vivimos juntos

En recuerdo a Ninoska Maneiro de quien aprendimos el valor de la superación.

DEDICATORIA

A mis padres José y Rita, pilares y ejemplo de vida

A mi esposo John Jairo, apoyo y compañero de siempre

A mis hijos, Emily y Juan Andrés, razón y esperanza de toda mi existencia

ÍNDICE

	PÁG
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA	14
1.1. Contextualización del Problema	14
1.2. Planteamiento del Problema	23
1.3. Formulación del Problema	27
1.4. Objetivo General	27
1.5. Objetivos Específicos	28
1.6. Justificación	28
1.7. Delimitación	32
CAPÍTULO II. EL DOMINIO DE LA FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	34
2.1. Estado del arte	48
2.2. Referente conceptual	48
2.2.1 Ergonomía. Historia. Concepto	48
2.2.2 Aspectos Legales relacionados con la Salud y la Ergonomía	58
2.2.3 Líneas de Ensamble y Balance de Líneas. Historia y conceptos relacionados	73
2.2.4 Heurística. Definición	87
2.2.5. Métodos de Evaluación de riesgos a L.M.E	91

CAPÍTULO III.	
DEL DOMINIO METODOLÓGICO	
3.1. Tipo de Investigación	102
3.2. Diseño de la Investigación	104
3.3. Técnicas de recolección y análisis de la información	105
3.4. Unidad de Análisis	106
3.5. Fases Metodológicas	109
CAPÍTULO IV.	
CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DEL MÉTODO HEURÍSTICO PARA EL	
BALANCE DE LÍNEAS CON CONSIDERACIONES ERGONÓMICAS	
4.1. Factores de riesgo a Lesiones Músculo Esqueléticas asociadas a las Líneas de Ensamble	115
4.2 Identificación de los métodos de valoración de variables biomecánicas sensibles a los factores de riesgos a Lesiones Músculo esqueléticas del sector automotriz	123
4.3. Parámetros del Balance de Líneas de ensamble con consideraciones ergonómicas	127
4.4. Descripción del Método BLEER	128
4.5. Validación del Método BLEER	142
4.5.1. Descripción de la línea de tapicería de la empresa Ensambladora.	143
4.5.2. Características del programa automatizado para el Método BLEER.	166
4.5.3. Aplicación del programa automatizado del Método BLEER en una empresa ensambladora de vehículos.	173
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	190
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	194
BIBLIOGRAFÍA	208
LINKOGRAFÍA	211
ANEXOS	213

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA No.	Pág
1. Tasa de Crecimiento del Producto Mundial por habitante y por región	1 6
2. Resumen del Estado del Arte referente a Balance de Líneas de Ensamble	46
3. Definiciones de Ergonomía	5 0
4. Estadísticas de Lesiones Músculo-Esqueléticas en Venezuela año 2006	5 7
5. Métodos de Evaluación de Riesgo a Lesiones Músculo-esqueléticas	5 9
6. Organismos Nacionales de Normalización que conforman la ISO en el mundo	64
7. Asociaciones de Ergonomía por países	6 7
8. Relación de la LOPCYMAT con otras disposiciones que regulan la materia	100
9. Comparación de resultados de los diferentes autores citados en factores de riesgo Ergonómico	121
10. Métodos de valoración biomecánica empleados en las investigaciones citadas	123
11. Código para relacionar nivel de riesgo REBA por color	180
12. Soluciones generadas por el Método BLEER	1 8 4

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA No.	Pág
1 Clasificación de los sistemas de producción basados en líneas de montaje.	35
2 Clasificación de las investigaciones sobre Balance de Líneas según el enfoque y objetivos que persiguen	37
3 Carga de Trabajo.	53
4 Línea de ensamble simple	74
5 Formato de Evaluación del puesto de trabajo según método REBA	95
6 Esquema de diseño del Método BLEER	114
7 Procedimiento esquemático del desarrollo del sistema de evaluación ergonómica.	118
8 Interacciones entre la organización del trabajo y la Ergonomía	125
9 Diferentes vértices de abordaje del problema de Balance de Líneas de ensamble.	126
10 Elementos considerados en el Balance de Líneas con consideraciones Ergonómicas	127
11 Etapas del desarrollo del algoritmo para el Balance de Líneas con consideraciones ergonómicas	129
12 Diagrama de flujo inicial del algoritmo para el Método BLEER	137
13 Colocación de goma inferior de la puerta	145
14 Instalación de alfombra	148
15 Ajustar cinturón de seguridad	150
16 Ajustar pedal de freno	152
17 Colocar cilindro de guantera	154
18 Colocación de retén trasero	156
19 Colocación de tapones en orificios	159

20	Deflector soporte del radiador	161
21	Colocación del uretano al parabrisas	162
22	Instalación de las cubiertas laterales	164
23	Línea de Tapicería	165
24	Hoja de entrada de datos	176
25	Resumen de la ejecución del algoritmo para el Método BLEER	177
26	Hoja de salida para la línea de tapicería con la aplicación del Método BLEER	178
27	Hoja de salida para el balance a través del Método BLEER para la Línea de tapicería	183
28	Resultados del Método BLEER para la solución 2	186



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DOCTORADO EN INGENIERÍA
ÁREA DE INDUSTRIAL



MÉTODO HEURÍSTICO PARA EL BALANCE DE LÍNEAS DE ENSAMBLE CON CONSIDERACIONES ERGONÓMICAS

Autora: Emilsy Medina

Tutora: Dra. Ruth Illada

RESUMEN

La investigación aborda el tema de equilibrar líneas de ensamble incluyendo en el balance consideraciones ergonómicas en una misma herramienta de valoración, que permite analizar de manera rápida y satisfactoria una gran cantidad de soluciones factibles para líneas de ensamble automotriz con numerosas actividades. Para ello se diseñó un procedimiento heurístico que se denominó Método de Balance de Líneas de Ensamble con consideraciones Ergonómicas o Método BLEER. En su diseño se transitó por varias etapas comenzando por identificar los factores de riesgo a lesiones músculo-esqueléticas, a través de una revisión documental y de campo, encontrándose que los factores presentes en las líneas de ensamble del sector automotriz son posturas no neutrales, movimientos repetitivos, levantamiento de cargas, y bipedestación prolongada. Verificándose los métodos sensibles a los factores de riesgo siendo el método “Rapid Entire Body Assessment” (REBA) el que contempla, en mayor amplitud estos factores, también se consideró el método de Evaluación Multitarea de Cargas Físicas, ya que involucra el tiempo de exposición al factor de riesgo, elemento presente en las variables para el balance de líneas tales como tiempo de duración de la tarea, precedencias, niveles de producción, tiempo disponible de producción. Se consideró además que la heurística de tipo constructiva fue la que mejor se ajustó a las características del problema y se utilizó para el desarrollo del algoritmo; así mismo, para el balance de líneas de ensamble, el cual es un problema de optimización combinatoria, se utilizó la optimización multiobjetivo para el diseño del índice adimensional llamado BLEER, tres variables fundamentales, el Tiempo de Ciclo Real, el Tiempo de Ocio y el Riesgo Biomecánico, ponderándolas de forma que tanto las variables asociadas al balance de líneas como al riesgo biomecánico están equilibradas dentro de la función. Las soluciones factibles que genera el método BLEER muestran alternativas satisfactorias para el equilibrio de este conjunto de elementos, ampliando el espectro de soluciones para seleccionar aquella que mejor satisfaga al problema.

Palabras Clave: Balance de líneas de ensamble, Riesgo biomecánico, Optimización multiobjetivo, Heurística, Ergonomía y Optimización Combinatoria.

INTRODUCCIÓN

En la experiencia obtenida a través de estudios como autora y como tutora, así como en el desarrollo de asesorías de programas de ergonomía en empresas surgió a la luz una oportunidad de investigación, muy poco abordada, asociada a la integración de los aspectos de balance de líneas de ensamble y del riesgo biomecánico en una misma herramienta que ofreciera a las organizaciones la suficiente información para tomar las decisiones sobre la asignación de actividades en estaciones de trabajo que garantice un equilibrio entre las variables de tiempo y las biomecánicas, ya que actualmente, las empresas realizan estos dos procesos de forma independiente. Por lo tanto, se definió como objetivo general desarrollar un método heurístico para el balance de líneas de ensamble con consideraciones ergonómicas.

Esta oportunidad de mejora condujo a la investigación de estos aspectos a nivel documental para verificar la tendencia tanto en procedimientos para balancear las líneas de ensamble así como para determinar los factores de riesgo presentes en las ensambladores del sector automotriz, y los métodos de valoración biomecánica sensibles a dichos factores, lo que llevó a la determinación de los parámetros a considerar para el diseño de un nuevo método heurístico que diera respuesta a la problemática planteada, para ello, se desarrolló un algoritmo el cual se probó de forma manual, en una primera etapa y luego se validó con un caso real a través de un programa automatizado en una línea de tapicería del sector automotriz venezolano.

El desarrollo de esta investigación está orientado en la búsqueda del equilibrio, en un mismo método, de los factores de productividad y salud del trabajador, ambos aspectos fundamentales para el logro de los objetivos de las empresas, por un lado, el aspecto económico de la producción y por el otro, el aspecto de la preservación de salud de sus trabajadores, que además de las consideraciones éticas que reviste este último, influye también en mejoras de calidad, producción, disminución de costos de procesos.

En los capítulos de este manuscrito se muestra el trabajo investigativo en la estructura siguiente: En el capítulo I se define el problema, así como los objetivos de la investigación y la justificación y delimitación del mismo. El capítulo II versa sobre el dominio de la fundamentación teórica, en el cual se exponen los basamentos del tipo teórico que sustentan el estudio. En el capítulo III se describe la metodología seguida en el proceso investigativo y que sirve de marco para la construcción del producto resultante del estudio. En el capítulo IV se construye el método heurístico para el balance de líneas de ensamble con consideraciones ergonómicas, así como se realiza la validación del mismo en un caso real de una línea de ensamble.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Contextualización del Problema

En la actualidad, la situación a la que se enfrentan las empresas es un reto de magnitud muy elevada, ya que gracias al desarrollo de la tecnología de telecomunicaciones, las fronteras del conocimiento han desaparecido y las distancias se han convertido en barreras difusas, implicando que todo lo que pasa en cualquier lugar del planeta puede tener repercusión en la toma de decisiones de las organizaciones, entonces se debe enfrentar a un mundo globalizado, dinámico, sin fronteras y pleno de desarrollos tecnológicos y de innovación. En tal sentido, es oportuno hacer una revisión del contexto socio-económico a nivel global, haciendo referencia a la situación específica de Venezuela dentro de ese marco de desarrollo económico internacional y regional.

Inicialmente se hace relevante hacer uso de la información recopilada en indicadores que muestren las fortalezas o debilidades de los países en relación al uso de sus capacidades, tecnologías y políticas en pro de beneficios sociales y económicos para su población, entre ellos se encuentra el Índice Global de

Competitividad Schwab (2013) el cual es desarrollado y publicado anualmente por el Foro Económico Mundial desde 1979 el cual mide la habilidad de los países de proveer altos niveles de prosperidad a sus ciudadanos. El Informe de Competitividad Global 2013-2014, muestra que la mayoría de los países de América Latina y el Caribe se estancaron en el desempeño de su competitividad, indicando que durante el año 2012, la región tuvo un crecimiento en un 3% para ese año, y un 3,4 % para el 2013. Se puede precisar que los primeros 10 países del índice para esta región, según el puesto de ubicación, son: Chile (34), Panamá (40), Barbados (47), Costa Rica (54), México (55), Brasil (56), Perú (61), Colombia (69), Ecuador (71) y Uruguay (85).

A nivel mundial, y repitiendo por quinto año consecutivo, Suiza es el país que ocupa el primer lugar, Singapur sigue en segundo lugar y Finlandia en el tercer puesto, Alemania (4^{to}), Estados Unidos (5^{to}), Suecia (6^{to}), Hong Kong (7^{mo}), Los Países Bajos (8^{vo}) Japón (9^{no}) y Reino Unido (10^{mo}).

Es de hacer notar que Venezuela ha ido desmejorando su posicionamiento en los últimos años pasando del puesto 98 en el período 2007-2008, a la posición 105 para 2008-2009, ocupó el puesto 113 para el período 2009-2010, durante el 2012-2013 siguió en descenso alcanzando la posición 126 y para el reporte 2013-2014 se ubicó en el lugar 134 de 148 países.

También es relevante exponer el crecimiento del Producto Mundial por habitante y por región, como se muestra en la Tabla No. 1

Tabla No 1
Tasa de Crecimiento del Producto Mundial por habitante y por región

	1913-1950	1950-1973	1973-1998
Mundo	0.98	2.93	1.33
América Latina	1.43	2.52	0.99
Estados Unidos	1.61	2.45	1.99
Europa Occidental	0.76	4.08	1.78
Europa Oriental	0.89	3.79	0.37
Japón	0.89	8.05	2.34
Total Asia (excepto Japón)	-0.02	2.92	3.54
África	1.02	2.07	0.01

Fuente: Escaith (2003)

Como puede apreciarse en la tabla anterior, el mundo en general presentó hasta el año 1998 dos ciclos bien diferenciados, el primero de ellos en el período de los años 1950 a 1973 donde se presenta un crecimiento del producto mundial debido a un repunte en las economías a causa del fin de la Segunda Guerra Mundial (1945), inclusive ocurre el llamado “milagro Japonés” cuya tasa de crecimiento fue de 8,05% la más alta en el mundo para ese período. En la región de América Latina se presenta un crecimiento más modesto pero significativo, según los datos luego hay un

decrecimiento en el período 1973-1998 en general para todas las regiones del mundo. Sin embargo, en Venezuela, durante este período se nacionaliza el petróleo (1975) y se comienza a recibir la renta petrolera convirtiendo a la economía del país dependiente del crudo.

Según Arias (2014), Venezuela cerró con una inflación en ese año de más de 50%, seguido de Siria, país en plena guerra civil, el cual culminó con una inflación de 49,5%, luego Sudán con un índice inflacionario de 37,1%, Irán de 32,3%, Argentina 28% y Malawi con 22,9%, el resto de los países del mundo presentaron una inflación por debajo del 20% y con un promedio de menos de 5%, es decir de un dígito.

En América Latina destacan países como Colombia cuyo cierre inflacionario fue de 1.94% para el 2013, el más bajo de la región, Ecuador con 2,70%, Perú (2,86%), Chile (3%), Costa Rica (3,68%), México (3,97%), Guatemala (4,34%), Honduras (4,92%), Paraguay (5%), Nicaragua (5,54%), Brasil (5,82%), Bolivia (6,48%) y Uruguay (8,52%).

A través de las cifras del Ministerio del Poder Popular para la Planificación y Desarrollo (2008), se puede observar que el Producto Interno Bruto a partir del 2004 ha ido decreciendo cada año. Se ha reducido significativamente la brecha entre el salario mínimo en bolívares y en dólares, y las tasas de interés activas se han mantenido con cierta estabilidad debido a las regulaciones gubernamentales, oscilando en un rango de 6% a 24% para el período 2004-2008, siendo la de diciembre 2009 fijada en 21,73% en Gaceta Oficial 39.344 de fecha 12/01/2010, según SENIAT (2010).

En relación al control cambiario, el país ha venido sosteniendo este tipo de sistema desde febrero de 2003 fecha en que se establece el dólar a 1,60 Bs/dólar, en febrero de 2004, se coloca en 1,92 Bs/dólar, en febrero de 2005 pasó a 2,15 Bs/dólar manteniéndose en ese precio hasta enero 2010, en el cual se establece dos precios regulados: una tasa preferencial de 2,60 Bs/dólar y el llamado “dólar petrolero” a una tasa de 4,30 Bs/dólar, lo cual se tradujo en una devaluación de la moneda, posteriormente en diciembre de 2010, se pasa a un dólar único de 4,30 Bs/dólar. Para el 13 de febrero de 2013, el dólar oficial se rige por el costo de 6,30 Bs/dólar. El 22 de enero de 2014 se estableció en dólar oficial en dos bandas, la banda inferior de este nuevo sistema cambiario fue el precio preferencial a 6,30 bolívares, a esta tasa quedaron las remesas estudiantiles, pensiones y jubilaciones, consulares y diplomáticos, los casos especiales, así como la alimentación, medicamentos y

repuestos. Los cupos para viajeros, las remesas familiares, reaseguros, inversiones extranjeras y las líneas aéreas podrán obtener divisas a tasa Sicad, la cual en la actualidad se encuentra a 11,30 bolívares por dólar. En la actualidad hay tres tipos de cambios a saber Sicad I a Bs. 6,30 por dólar, Sicad I a Bs. 11,30 por dólar y Sicad II que en promedio se subasta a Bs. 50 por dólar. (Banco Central de Venezuela).

En cuanto a la escasez, la generada en el 2013 fue la más elevada desde 2003 según los últimos datos del Banco Central de Venezuela, este indicador cerró el año pasado en 22,2%. En ese período la ausencia de productos en los anaqueles no bajó de 19,3%, y promedió aproximadamente 20,7% con los resultados de noviembre y diciembre. El resultado es 7,6 puntos porcentuales superior al promedio de los últimos 10 años, calculado por el Banco Central de Venezuela en 13,1%.

En el período 2000-2003, según cifras del Instituto Nacional de Estadística de Venezuela (2010), el total de industrias manufactureras en el país decrece hasta el 2004 año en que se registra un repunte en la pequeña y mediana empresa de nuevo probablemente causada por un aumento de la liquidez monetaria que se produjo en dicho año, debido al creciente gasto del Gobierno Central, el control de cambio iniciado en febrero 2003 y los altos ingresos petroleros. Posterior a este período no hay información oficial referente a estas cifras.

Otro de los puntos a considerar son los lineamientos establecidos en el Plan Nacional Simón Bolívar, Primer Plan Socialista, en el cual se establecen las directrices del desarrollo económico y social de la Nación para el período 2007-2013, en la que se norma el Modelo Productivo Social, el cual se orienta hacia la construcción del Modelo Productivo Socialista, que estará conformado, como se define en el documento citado por Las Empresas de Producción Social (EPS), aunque se plantea que seguirán existiendo empresas del Estado y empresas capitalistas privadas, y se define por Empresas de Producción Social:

“...las entidades económicas dedicadas a la producción de bienes o servicios en las cuales el trabajo tiene significado propio, no alienado y auténtico, no existe discriminación social en el trabajo y de ningún tipo de trabajo, no existen privilegios en el trabajo asociados a la posición jerárquica, con igualdad sustantiva entre sus integrantes, basadas en una planificación participativa y protagónica”.

Se propone también que existirá un “tejido interconectado entre las EPS, que progresivamente abarcará el mayor número de actividades económicas, complementándose y apoyándose para el beneficio colectivo de la comunidad y del

pueblo en su conjunto”. En este contexto, el enfoque de creación de nuevas empresas estará sujeto a este modelo de empresas de producción socialista, por lo que es de suponer que la accesibilidad a créditos otorgados por el Estado estará orientado hacia la apertura y sostenibilidad de este tipo de organizaciones, en las áreas prioritarias para el país, dentro de las cuales se pueden nombrar: Agroalimentación, Salud, Promoción del desarrollo Industrial, Desarrollo Sostenible, Cambio Global y Ecosistemas; Tecnologías de Información y Comunicación; Ciencia y Sociedad, Innovación para el desarrollo endógeno, entre otras, según el Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias (2010).

No se puede dejar de lado la crisis eléctrica que presenta el país y que llevó al Gobierno Nacional a decretar el Estado de Emergencia en febrero de 2010, a fin de poder legislar con la urgencia requerida sobre la materia eléctrica, situación ésta que suma una mayor dificultad para las organizaciones en relación a la productividad, a la comercialización de los bienes y servicios, aunque sigue siendo un factor importante dentro de las variables que afectan a los productores y en general al país.

En el marco legal, existe una gran variedad de leyes que deben ser consideradas por las organizaciones tales como: Reforma Parcial de Bancos y Otras Instituciones, Ley para la Promoción y Desarrollo de la Pequeña y Mediana Industria

y demás unidades de Producción Social, Ley para el Fomento y Desarrollo de la Economía Popular, Reforma Parcial del Seguro Social, Ley Orgánica de Prevención y Condiciones de Medio Ambiente de Trabajo, Ley del Crédito para el Sector Agrario, Ley de Expropiación por causa de Utilidad Pública o Social, entre muchas otras que se han aprobado a través de la Ley Habilitante otorgada al Presidente de la República. A través de la Asamblea Nacional, la Ley de Propiedad Social, Ley de los Consejos Comunales y la Reforma a la Ley para la Defensa de las personas en el acceso de los bienes y servicios. De fecha más reciente, la Ley de Costos y Precios Justos que entró en vigencia el 22 de noviembre de 2013, la cual establece, entre otras disposiciones, un margen de ganancia máximo del 30%.

En este escenario político, económico y social en el cual está inmerso el país, y aunado a un ambiente de competitividad global, las empresas venezolanas se han visto en la necesidad de mejorar sus niveles de productividad para mantenerse en el mercado, además han procurado guardar la relación salud-trabajo en los diseños de métodos y líneas de producción o de ensamble, ya que un puesto de trabajo mal diseñado puede elevar el riesgo a la generación de enfermedades ocupacionales y problemas para mantener la calidad del producto y el nivel de productividad deseado.

En este sentido, la participación de la Ingeniería Industrial es clave, tanto para el diseño de mejores métodos de producción y control de recursos, valiéndose de múltiples herramientas y técnicas para el aumento de la productividad, calidad, para la prevención y control de riesgos en los centros de trabajo, apoyándose también en la Ergonomía para el logro de estos objetivos.

1.2. Planteamiento del Problema

Hoy en día, las organizaciones, tanto a nivel mundial como en Venezuela, se han enfocado en la mejora de la productividad para ser competitivas en el ambiente global que enmarca el siglo XXI, así como un creciente interés en preservar la salud de los trabajadores. Las empresas donde sus procesos requieren balancear líneas de ensamble, no están fuera de este contexto y surge también la necesidad de buscar mejoras para los mismos.

Actualmente, el balance de líneas de ensamble se formula considerando los elementos de trabajo necesarios para completar una unidad de producto y los tiempos de cada uno, existiendo diferentes metodologías para realizar la asignación de tareas de trabajo en las estaciones. Según estas asignaciones se pueden obtener diferentes soluciones tanto del centro de trabajo como de la línea completa. Sin embargo, estos

conceptos de balance de línea dejan por fuera consideraciones asociadas al ser humano como los aspectos biomecánicos, entre ellos las posturas y movimientos que debe adoptar el operario para cumplir con las actividades y tiempos estipulados por el balance, sin considerar los riesgos de sufrir una lesión músculo esquelética a los cuales se expone el trabajador, es decir, ni los métodos de balance de líneas actuales ni los del pasado, consideran de forma explícita aspectos ergonómicos que repercuten tanto en la salud del trabajador como en la productividad de la línea de ensamble.

Por otra parte, las enfermedades ocupacionales constituyen un problema grave a nivel mundial. Según la Occupational Safety and Health (OSHA,2010), en el año 2009 éstas representaron el 5,1 % de los casos reportados, siendo los trastornos músculo esqueléticos contabilizados dentro de la categoría de otras enfermedades con una incidencia de 62,7%, enfermedades de la piel un 15,6%, pérdida de la audición 11,7%, enfermedades respiratorias 8,8% y envenenamiento un 1,2%, siendo el sector de manufactura el que aglutinó la mayor incidencia de los mismos con un 39%.

Takala (2010) afirma que el 8,6% de los trabajadores en la Unión Europea ha presentado un problema de salud debido al trabajo en los últimos 12 meses, lo que corresponde a 20 millones de personas, con mayor prevalencia de problemas músculo-esqueléticos, estrés, ansiedad o depresión. También señala Takala (2010)

que en el Reino Unido en el año 2008, el 6,8% de la población económicamente activa presenta una o más enfermedades al año debido al trabajo, que causan ausentismo en el trabajo; en Europa, entre 15,4 y 18,7 millones de trabajadores han presentado una enfermedad laboral, y en el mundo alrededor de 198 a 242 millones de personas.

En Venezuela, estos trastornos constituyen la primera causa de morbilidad ocupacional. En el año 2006, este tipo de patologías representó el 76% de todos los diagnósticos ocupacionales realizados en el país, con una tendencia al incremento en los últimos cuatro años. (Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laboral, 2006).

Investigaciones científicas han encontrado que la mayoría de estos desórdenes tienen etiología multifactorial (Daniellou, 2007), así pues se han detectado relaciones con factores de riesgo físico (Bernard, 1997; Hagberg et al., 2000), fisiológicos (Manero, 2005) y psicosociales (Aptel, 2001), sin embargo, siguen siendo los problemas asociados a la carga postural, repetitividad y grandes esfuerzos musculares los de mayor aporte en la génesis de dichos desórdenes (Rodríguez et al., 2008a).

Las líneas de ensamble son un aspecto relevante de los sistemas de producción ya que allí convergen todas las partes producidas para ser integradas y formar una unidad de producto, estas líneas generalmente presentan características específicas, un ejemplo de ellas es el sector automotriz, el cual es uno de los sectores con alta prevalencia de trastornos músculo esqueléticos (Punnet et al., 2004a), concretamente se desarrollan lesiones en el sistema osteo-muscular a causa del empleo repetido de herramientas y equipos vibratorios, tareas que exigen girar la mano continuamente, aplicación de fuerza en una postura incómoda, aplicación de presión excesiva en miembros superiores, trabajar con los brazos flexionados, trabajar con el tronco flexionado hacia adelante, levantar o empujar cargas pesadas, además de contar con ambientes calurosos, altos niveles de ruido, tiempos de ciclos muy cortos y trabajos monótonos.

Lo antes expuesto pone de manifiesto que el problema de balance de líneas, además de ser un problema de optimización combinatoria, cuando se incluye el balance de cargas de trabajo es, se torna además en un problema de optimización multiobjetivo que promueva la mejora continua de los indicadores de productividad, de calidad, de salud y seguridad, por lo que se hace necesario el desarrollo de una metodología de gestión de balance tanto de línea como de cargas de trabajo que tome en cuenta, además de los tiempos, las actividades y la eficiencia de las mismas, las

consideraciones ergonómicas que logren prevenir las lesiones o trastornos músculo esqueléticos y reduzca su incidencia en la salud de los trabajadores.

1.3. Formulación del Problema

El problema planteado anteriormente hace que la investigación pretenda indagar sobre:

¿Cómo combinar las variables del balance de línea y las variables ergonómicas en una sola metodología?

1.4. Objetivo General

Desarrollar un método heurístico para el balance de líneas de ensamble tomando en cuenta consideraciones ergonómicas.

1.5. Objetivos Específicos

- Identificar los factores de riesgo a lesiones músculo-esqueléticas asociados a líneas de ensamble.
- Identificar los métodos de valoración biomecánica que muestren sensibilidad a los factores presentes en centro de trabajo de líneas de ensamble.
- Establecer los parámetros de estudio de balance de línea referente a tiempos, actividades y variables ergonómicas.
- Diseñar un algoritmo que permita asignar los elementos de trabajo según las variables que tienen impacto en las líneas de ensamble.
- Validar el funcionamiento del algoritmo desarrollado.

1.6. Justificación

La Organización Mundial del Trabajo (OIT) expresa que la proporción de trastornos músculo-esqueléticos atribuibles al trabajo es de alrededor del 30% y, en

los países en desarrollo se estima que por este concepto se gasta el 10% del PIB (Lim et al., 2001).

Otro aspecto de especial interés radica en el hecho de que la mayoría de estas afecciones producen molestias o dolor local y restricciones de movimientos que pueden obstaculizar el rendimiento normal en la actividad, provocar accidentes laborales, generar costos por uso de los servicios médicos, suplencias, ausencias, y/o demandas (Riihimaki, 2001).

En este sentido, los pronunciamientos de la OIT han estado centrados en la necesidad de diseñar políticas públicas que fomenten la prevención de los trastornos músculo-esqueléticos a través de la mejora paulatina de los espacios de trabajo, así como la educación continua y pertinente de los trabajadores en temas relativos a la cultura postural.

El enfoque de política de Estado se ve reflejado en materia legal a través de la reforma de la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT, 2005), en la cual se expresan los deberes de los empleadores en la adopción de medidas que garanticen a los trabajadores las condiciones de salud,

higiene, seguridad y bienestar en el trabajo, para lo cual deben adecuar los métodos de trabajo, las máquinas, herramientas y útiles empleados en el proceso de trabajo según lo establece el artículo 60 de la mencionada ley “a las características psicológicas, cognitivas, culturales y antropométricas de los trabajadores y trabajadoras. En tal sentido, deberá realizar estudios pertinentes e implantar los cambios requeridos tanto en los puestos de trabajo existentes como al momento de introducir nuevas maquinarias...”

Es así como el Ingeniero Industrial debe buscar un balance de líneas y de cargas de trabajo que combine tanto la mayor eficiencia posible de las líneas de ensamble, al asignar los elementos en cada estación de trabajo, como el mayor bienestar del trabajador o trabajadora en el desempeño de la actividad, es decir, el balance de línea debe considerar también el componente ergonómico desde el punto de vista biomecánico, es decir, el compromiso articular.

Para el desarrollo de la investigación se seleccionó la industria automotriz, ya que en Venezuela y específicamente en el Estado Carabobo, este sector forma parte del músculo industrial y está dispuesto a colaborar en la realización de trabajos de investigación como el presente, permitiendo la observación de las líneas de ensamble, la toma y validación de los datos y la verificación de las condiciones,

además que es un sector en el cual la prevalencia de lesiones músculo esqueléticas debido a la actividad laboral es alta como lo señalan investigaciones de autores como Punnet y Wegman (2004), Colotto et al (2008), Rodriguez et al (2009).

En el Seminario Perspectivas Económicas de la Industria Automotriz en Venezuela y Periodismo Automotor (2009) se consideraron los siguientes aspectos:

Para el año 2008 el sector industrial automotor contaba con alrededor de 10.245 empleados directos siendo alrededor del 0,1% de la población ocupada el país (INE, 2011). En Venezuela, hay 11 estados fabricantes de autopartes, con la siguiente distribución geográfica: Carabobo 38%, Miranda 23%, Aragua 16%, Sucre 5% y Anzoátegui 3%.

Dentro de las ensambladoras de vehículos en el país se pueden citar: Chrysler, Ford, General Motors, IVECO, Mack, Toyota, entre otras. (Cavenez, 2011). El parque automotor para el año 2008, distribuido de la siguiente manera: 29% GM; 18,5% Ford; 14,11% Toyota, Fiat 7% y Renault 3,8%, representando cerca del 70% del parque automotor, los vehículos ensamblados en Venezuela, y representando el 7% del PIB para 2008 la industria automotriz.

La presente investigación pretende contribuir en la difusión dentro del sector productivo de la argumentación relacionada con que el bienestar y la salud del equipo humano es fundamental en el incremento de la productividad.

Esta investigación además contribuye la actualización del pensum de la carrera de Ingeniería Industrial con el desarrollo de nuevas investigaciones en el área representa para la Universidad de Carabobo un agregado importante para el acervo académico de la Institución.

1.7. Delimitación

La investigación se orienta hacia el balance de líneas de ensamble con consideraciones ergonómicas. Es oportuno entonces señalar que la Carga de Trabajo se considera como el conjunto de demandas asociadas a la actividad laboral (Gueland, 1982), este concepto contiene dos grandes dimensiones:

- Carga Física, que contempla a su vez dos aspectos, la carga dinámica o carga metabólica y la carga estática, que se refiere al compromiso articular del cuerpo

humano en la ejecución de las tareas. Estos aspectos, tanto la carga dinámica como la estática han sido catalogados como buenos predictores para la etiología de los trastornos músculo-esqueléticos (Manero et al., 2008b).

- Carga Mental: relacionada con la administración del tiempo para el logro de las metas de trabajo considerando aspectos como apremio para terminar una tarea, complejidad, rapidez y minuciosidad. También considera factores organizacionales como la toma de decisiones, estima, identificación con la actividad.

Luego de las consideraciones realizadas en los párrafos anteriores, es importante señalar que en esta investigación se consideró específicamente la carga física, sobre el compromiso articular, para efectos de las variables a considerar en el desarrollo del algoritmo, con el fin de reducir las lesiones músculo-esqueléticas, considerando para ello los aspectos biomecánicos. Esta orientación se basa en las estadísticas del año 2006, en el que se diagnosticaron 2066 enfermedades ocupacionales de las cuales 1580 casos eran lesiones músculo-esqueléticas como lumbalgias, protusión y hernias discales, entre otras, representando el 76% de todas las enfermedades ocupacionales (Instituto Nacional de Estadística de Venezuela, 2009), constituyendo un problema de salud pública en el mundo laboral (Escalona, 2001), además se seleccionó como lugar de trabajo las líneas de ensamble de vehículos automotrices.

CAPÍTULO II

DOMINIO DE LA FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Estado del Arte

La dinámica del balance de líneas, así como las evaluaciones ergonómicas en líneas de ensamble, son los puntos medulares que se abordan en esta investigación. En este sentido, se revisan los antecedentes relativos al tema, así como los fundamentos y bases teóricas que dan cimientos a la estructuración del estudio.

En relación a las investigaciones referentes al balance de líneas, Cano (2006) nombra como trabajos pioneros en el área a los desarrollados por Wester y Kilbridge en el año 1963, Thomopoulus en el año 1968, Dar-El en 1978 y Okamura y Yamashina en el año 1979, considerando como criterios en estos estudios: la minimización del costo total de ineficiencias, evitar congestiones en las líneas o la reducción de la longitud total de la cadena. Según la literatura revisada, se puede clasificar los sistemas de producción basados en líneas de montaje como se aprecia en la figura. No.1

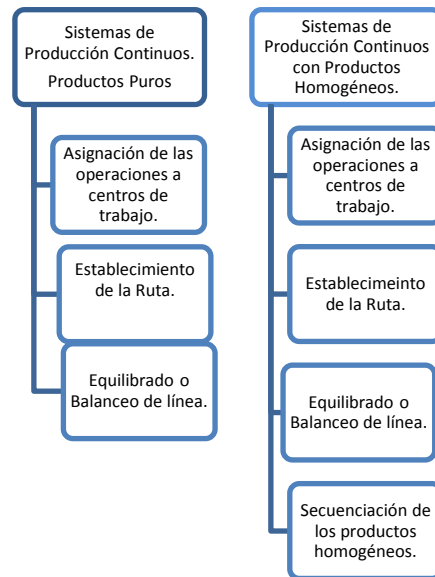


Fig. No. 1 Clasificación de los Sistemas de Producción basados en Líneas de Montaje

Para balancear el caso de Productos Homogéneos, es decir, productos del mismo tipo con algunas variaciones de una unidad a otra, es necesario, según Monden (1983), seguir los siguientes pasos: 1) Determinación del ciclo de fabricación, 2) Cálculo del mínimo número de procesos 3) Preparación de un diagrama de las relaciones integradas de precedencia entre tareas elementales 4) Equilibrado de línea. 5) Determinación del programa de secuencias para introducir diversos productos en la línea.

Xiaobo y Ohno (1997) agregan dos objetivos más a la clasificación realizada por Monden (1983), dichos objetivos son: a) mantener una tasa de alimentación

constante para cada producto en la cadena de montaje, b) minimizar el tiempo total de paro del transportador.

De la revisión documental se clasifican las investigaciones relativas al tema de Balance de Líneas según el enfoque y objetivo que persiguen: a) Consumo regular de los componentes. Objetivo: Minimizar el riesgo de parada de línea: En este grupo se encuentran investigaciones de Monden (1983), Kubiak (1993), Miltenburg y Sinnanmon (1989), Sumichrast y Russel (1990). b) Regularidad en la introducción de productos a la línea. Objetivo: Minimizar la variación de la tasa en que los diferentes productos están presentes en cualquier segmento de la secuencia: Miltenburg (1989), Miltenburg et al., (1990), Sumichrast y Russel (1990), Kubiak y Sethi (1991). c) Distancia máxima que el trabajador recorre hasta el final de la estación. Objetivo: Minimizar el riesgo de paro de línea: Okamura y Yamashina (1979) y Tasai (1995) d) Problemas de sobrecarga de trabajo, o trabajo perdido o utilitario: Yano y Bolat (1989), Yano y Rachamadugu (1991), Bolat (1997), Tasai (1995), Xiaobo y Ohno (1997), Cano (2006).e) Cargas en el tiempo improductivo: Bolat y Yano (1992), Sarker y Pan (1998). (Ver fig. No.2)

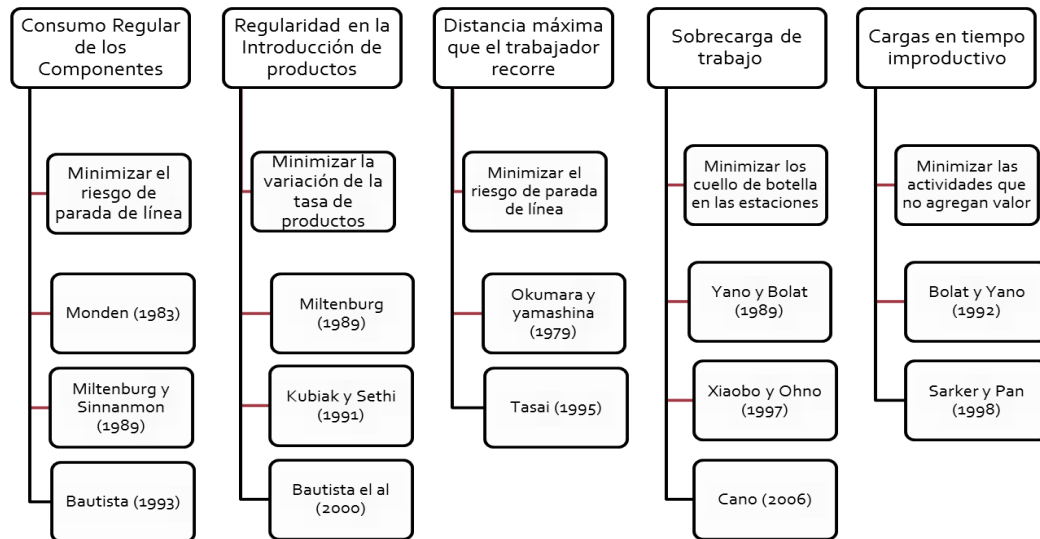


Fig. No.2. Clasificación de las investigaciones sobre Balance de Líneas, según el enfoque y los objetivos que persiguen.

De acuerdo a la clasificación anterior, el planteamiento que más se asemeja a la propuesta de esta investigación para el balance de líneas es el que busca la disminución de sobrecarga de trabajo y el de cargas en tiempo improductivo, sin embargo, el argumento del método propuesto en la presente investigación integra además las consideraciones ergonómicas que han sido muy poco abordadas, como objetivo dentro de los balance de líneas tradicionales.

Entre otras investigaciones consideradas relevantes está la de Restrepo, Medina y Cruz (2008), quienes aplican un algoritmo contentivo de 6 pasos, los cuales se exponen a continuación: 1) Para cada tarea, identificar las tareas que le siguen o preceden inmediatamente 2) crear una lista A con las tareas no asignadas, sus

predecesoras inmediatas (no asignadas) y el número total de tareas que la preceden (no asignadas). 3) De la lista A crear una lista B conformada por las tareas que tienen cero (0) predecesores. Si no hay tarea sin ser asignadas a estaciones, entonces parar 4) de la lista B, crear una lista C compuesta de las tareas que tienen tiempo de proceso que no supera el tiempo disponible de la estación. Si la lista C está vacía, abra una nueva estación y repita el paso 2. 5) Aleatoriamente seleccionar de la lista C una tarea para asignarla a la estación 6) Actualizar el tiempo disponible en la estación y la lista A, retorne al paso 3. Este algoritmo es denominado Algoritmo Comsoal (Computer Method for Sequencing Operations for Assembly Lines) según Armin et al (2006) citados por Restrepo et. al. (2008) y genera, a través de varias iteraciones, diferentes secuencias cada vez que se ejecuta el algoritmo, en función de la actividad que se seleccione de forma aleatoria en el paso 5. Los autores concluyen que el algoritmo desarrollado es de fácil aplicación y una ventaja es que permite encontrar varias soluciones para la asignación de actividades en las estaciones, en comparación con otros procedimientos como la heurística de pesos posicionales, aunque admiten que el procedimiento no ha sido comparado con procedimientos como las meta-heurísticas y por lo tanto no se conoce sus fortalezas o debilidades con respecto a ellas.

Otra investigación considerada es la desarrollada por Soqui y Vásquez (2003), la cual se enfoca hacia la justificación de los proyectos ergonómicos en líneas de ensamble manual, a través de la simulación discreta. El objetivo de su investigación es sustentar, gráfica y analíticamente, la factibilidad de aplicar

proyectos ergonómicos, en líneas de producción con ensamble manual, mediante el uso de la simulación en eventos discretos. En la investigación, los autores trabajaron en una línea específica donde se ensamblaban 600 piezas en una jornada laboral, lo cual representaba una producción de 71 piezas/hora, con un tiempo de ciclo de 0,84 minutos por pieza. Al realizar el diagrama de procesos, se pudo notar que las operaciones críticas, desde el punto de vista ergonómico, eran las denominadas “Cargado” y “Prensado”, en este sentido, se aplicó la metodología RULA dando como resultado que ambas actividades presentaban un nivel alto de riesgo, es decir siete (7) puntos, de generar lesiones músculo esqueléticas.

También se encontró, como resultado de la aplicación del diagrama de procesos que el 57,39% del tiempo total la pieza está bloqueada, es decir, no puede pasar a la siguiente estación por no haber culminado la operación, esto indicó a los autores que la línea no estaba balanceada adecuadamente.

Una vez que los autores identificaron la problemática en la línea, iniciaron la búsqueda heurística estructurada, por medio de la simulación de sistemas, para mejorar la eficiencia, reducir el tiempo de ciclo y hacer eficiente la línea de producción.

Soqui y Vázquez (2003) generaron propuestas ergonómicas para ambas actividades de cargado y prensado y con la simulación se pudo observar que no eran

necesarios 4 operadores en la estación de cargado, con 2 operarios era suficiente para trabajarla. Al finalizar de realizar las mejoras ergonómicas y el balanceo de la línea, se simuló la línea de producción y se obtuvo mejoras importantes, es decir, las piezas producidas lograron aumentar la producción en 132 piezas/hora disminuir el tiempo de ciclo de 0,45 min por pieza. Lo cual trajo como conclusiones para los autores que la justificación de proyectos ergonómicos a través de la heurística, basados en la simulación, es una alternativa apropiada debido a su bajo costo y su alta confiabilidad.

Este antecedente proporcionó elementos de soporte al proceso investigativo, junto con otros antecedentes estudiados, para afirmar que la metodología actual empleada en las empresas ensambladoras es la de balancear las líneas de ensamble como primera etapa, posteriormente se realizan los estudios ergonómicos evaluando las actividades críticas y aplicando algún método de valoración de riesgo biomecánico. El análisis de estos estudios, aunado a la experiencia de la autora de la presente investigación en la asesoría de trabajos especiales de grado a nivel de pregrado en el área de Ingeniería Industrial, así como trabajos propios de investigación desarrollados en el área del sector automotriz, generaron las premisas para converger epistemológicamente en el desarrollo de un nuevo método en el cual, se integran las variables del balance de líneas de ensamble con las variables biomecánicas relativas al proceso.

En la investigación desarrollada por Ramírez *et al.*, (2007), se plantea el uso de los algoritmos genéticos simples (AGS) para determinar el menor número de operarios en cada una de las estaciones de trabajo de una línea de ensamble, con flujo unidireccional, estaciones de trabajo en serie y un mismo orden en la secuencia para todos los productos, además la línea se encuentra sujeta a perturbaciones que obligan a reducir el tiempo de ciclo para mantener o incrementar la productividad. Como resultado de este trabajo se obtuvo el algoritmo genético que pudo resolver el problema de balance para lograr el objetivo planteado, y se determinó que fueron suficientes 25 iteraciones para conseguir el resultado deseado, el cual se tradujo en asignar 6 operarios. Este trabajo da indicios al hecho de que los Algoritmos Genéticos Simples constituyen una herramienta conveniente para resolver problemas complejos, concluyen los autores que cuanto mayor sea el número de elementos de trabajo a considerar, mayor será el beneficio de utilizar este tipo de algoritmos, con lo cual se refuerza que el uso de métodos heurísticos en la presente investigación es un camino acertado debido a la cantidad de variables involucradas. Es importante hacer notar que en la literatura abundan heurísticas en relación a cierto tipo de problemas, Ramírez *et. al.*, (2007) declaran que no es fácil encontrar una heurística que se adapte al escenario específico considerado en su investigación.

Estos mismos autores consideran sin embargo que sí se puede mejorar el algoritmo genético tomando en cuenta otros enfoques tales como: una función de aptitud multi-objetivo, una población inicial pequeña que puede aumentar de una

generación a otra, considerar soluciones no factibles y diseñar una representación del cromosoma más eficiente. Además sugieren incorporar otra clase de restricciones de zona como el hecho de que algún elemento de trabajo deba ser realizado solo por uno o varios operarios en particular excluyendo a otros.

Este estudio se consideró sumamente pertinente para el desarrollo de la tesis ya que muestra el uso de métodos heurísticos en la resolución de problemas de balance de líneas debido a la cantidad de variables y actividades que están involucradas, como es el caso que se plantea en esta investigación.

Por otra parte, el planteamiento que hacen los autores referente a que se puede mejorar el algoritmo genético a través de una función de aptitud multiobjetivo, proporcionó la clave, en el método propuesto en esta investigación, de cómo integrar las variables de balance de líneas y las biomecánicas en una función multiobjetivo que valora, a la vez, el balance desde la perspectiva del tiempo y del esfuerzo biomecánico.

Otra investigación relevante para este trabajo es la desarrollada por Coronado y Ospina (2013) en la cual presentan un modelo de optimización para el balance de líneas en U tomando consideraciones de riesgos ergonómicos de las tareas dentro de las estaciones de trabajo. En este antecedente, se plantea un modelo con una función objetivo de minimización y sujeto a seis restricciones referentes a condiciones de la

línea de ensamble y una adicional relativa al riesgo ergonómico, tales como: Restricción 1: permite que cada tarea sea asignada a una sola estación de trabajo. Restricciones 2 y 3: aseguran que las estaciones de trabajo no excedan en tiempo de ciclo. Restricciones 4 y 5: relacionan la precedencia que existe en la red original y “fantasma”. Restricción 6: define las variables binarias. El aporte de dicha investigación es incluir una restricción adicional en el modelo, relativa al riesgo ergonómico, la cual utilizan como método para estimar el riesgo ergonómico el método Check List OCRA.

Esta investigación es una de las pocas que se ha hallado en la revisión documental, en la que se hacen consideraciones ergonómicas para una línea de ensamble, específicamente las del tipo en “U”. También consideran el riesgo ergonómico basado en el método Check List OCRA el cual es una evaluación rápida del riesgo o problemas tales como tendinitis en el hombro, tendinitis en la muñeca o el síndrome del túnel carpiano asociado a movimientos repetitivos en miembros superiores (muñeca, codo, hombro).

En este orden de ideas, Otto y Scholl (2011), demuestran en su investigación que, a pesar de que la mayoría de los métodos de estimación de riesgos ergonómicos implican funciones no lineales, estos métodos pueden ser integrados en técnicas de balanceo de la línea de montaje a un bajo costo computacional adicional, sus

experimentos computacionales indican que re-equilibrar a menudo conduce a una reducción sustancial de los riesgos ergonómicos.

Estos autores trabajaron con la optimización combinatoria y con la metaheurística denominada Recocido Simulado o Simulated Annealing (SA), para el desarrollo de su algoritmo.

Este antecedente es útil para vislumbrar el hecho de que a través de métodos heurísticos se puede balancear las líneas de ensamble tomando en cuenta el riesgo ergonómico que implica el trabajo en la línea, como es el caso desarrollado en esta tesis.

En el trabajo de Xu et al (2012) se presenta una metodología para agregar las medidas ergonómicas de las extremidades superiores a los problemas de diseño de líneas de ensamble; los autores desarrollaron modelos lineales para vincular la asignación de trabajo y las medidas ergonómicas de las extremidades superiores con base en una guía de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales. Estos modelos lineales permiten que las medidas ergonómicas y de productividad se trabajen como un modelo de programación entera mixta. Los estudios de caso de este trabajo muestran que el nuevo modelo puede balancear eficientemente y controlar los niveles de exposición en las extremidades superiores, sin disminuir significativamente la eficiencia de línea. Esta investigación muestra el

potencial de reducir la necesidad de numerosos ajustes de tareas de mejora ergonómica después del diseño inicial de la línea de montaje. Sin embargo el método de valoración ergonómica con el cual trabajan estos autores, sólo considera los miembros superiores.

Este antecedente, aporta pertinencia al trabajo desarrollado en esta tesis en el sentido de buscar la integración de las variables ergonómicas a los balances de líneas de ensamble, desde un principio y no trabajarlos de forma separada.

En la tabla No. 2 se resume el estado del arte, referente al balance de líneas de ensamble, con los trabajos más relevantes considerados por la autora según la revisión bibliográfica consultada.

Tabla No. 2**Resumen del Estado del Arte referente al Balance de Líneas de Ensamble**

Autores	Técnica utilizada	Objetivo (s)
Wester y Kilbridge (1964)	Procedimiento greedy	Tiempo ocioso y congestión de trabajo.
Thomopoulos (1967)	Procedimiento greedy	Ineficiencia, congestión, tiempo utilitario, tiempo ocioso.
Macaskill (1973)	Procedimiento greedy	Trabajo utilitario, ineficiencia.
Okamura y Yamashina, (1979)	Modelos matemáticos de optimización	Riesgo de paro de línea.
Yano y Rachamadugu (1991)	Formulación matemática MIP, greedy	Sobrecarga
Bolat y Yano (1992a)	2 algoritmos de reglas de espacios y 2 heurísticas greedy.	Sobrecarga y ocio
Tsai (1995)	Modelos matemáticos de optimización	Riesgo de paro de línea y trabajo utilitario.
Aigbedo y Monden (1997)	Procedimiento paramétrico greedy.	Nivelado del uso de partes, de carga, de tasa de producción y de carga de sub-ensambles.
Guerre et al (1995)	Secuenciación dinámica	Fechas de entrega, balancear cargas y tiempos de espera.
Smith et al (1996)	Heurística greedy y Redes Neuronales	Regularidad en la producción/trabajo utilitario.
Bolat (1997)	Algoritmo estocástico, Recocido Simulado o Simulated Annealing (SA)	Trabajo utilitario, trabajo incompleto.
Xiaobo y Ihno (1997)	Ramificación/acotamiento o Branch/Bound (B&B) y Recocido Simulado.	Paro de línea

Continuación Tabla No. 2

Autores	Técnica utilizada	Objetivo (s)
Korkmazel y Meral (2001)	Procedimiento de dos fases	Nivelado de carga y consumo de partes.
Kim y Cho (2003)	Recocido Simulado o Simulated Annealing (SA)	Consumo de partes, carga regular y tiempos de preparación.
Kotani et al (2004)	Algoritmo de aproximación de dos fases.	Consumo de partes y paro de línea.
Ding et al (2006)	Scaling y Goal	Jointly balance/multiobjetivo.
Ramírez et al (2007)	Algoritmos Genéticos Simples	Determinar el menor número de operarios en las estaciones de trabajo de una línea de ensamble.
Coronado y Ospina (2013)	Modelo de optimización y método Check List OCRA	Minimización de estaciones de trabajo y de riesgo ergonómico.
Otto y Scholl (2011)	Optimización/combinatoria y simulación	Incorporar los riesgos ergonómicos en los balances de líneas.
Xu et al (2012)	Modelos lineales de programación entera mixta y guía de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales	Reducir riesgos a lesiones músculo-esqueléticos en líneas de ensamble.

En la literatura se encuentran numerosas investigaciones en las cuales se han desarrollado mejoras de métodos de trabajo a través de la Ergonomía, entre ellos se pueden nombrar algunas como Medina et. al., (2007), Rodríguez et al., (2007), Gasca et al., (2008), Vargas, Sánchez y Medina (2010), entre otros. Sin embargo, ha resultado poco prolífera la búsqueda de literatura asociada al balance de líneas de ensamble considerando aspectos ergonómicos, encontrándose como referentes las investigaciones de Coronado & Ospina (2013), Xu et al (2012) y de Otto & Scholl (2011). Las investigaciones más recientes muestran interés en desarrollar métodos de

balance de líneas incluyendo aspectos ergonómicos, siendo esto una muestra de la relevancia que está tomando este tema, pero es necesario indicar que estas investigaciones muestran debilidades al no identificar cuáles son los factores de riesgo a lesiones músculo-esqueléticas asociadas a líneas de ensamble, y por ende, no se podría asegurar que el método de valoración de riesgo seleccionado sea el más sensible para el caso de líneas de ensamble.

2.2. Referente Conceptual.

2.2.1. Ergonomía Historia. Concepto.

El interés por los estudios ergonómicos ha sido una preocupación que ha venido surgiendo con el transcurrir del tiempo, pudiéndose referir a Frederick Taylor, padre de la Administración Científica, quien propone técnicas para encontrar el método óptimo para realizar una tarea determinada, dentro de esos métodos de mejora Taylor trabajo por ejemplo en el diseño de herramientas que aumentaban la producción pero también considerando algunos aspectos relativos a elementos que podían producir fatiga en los operarios para tratar de reducirlos. Luego, los esposos Gilberth (Frank y Lillian), amplían trabajo de Taylor en el año 1900 y desarrollan el estudio de tiempos y movimientos. Los Gilberth desarrollaron estudios de micromovimientos en base los Therblig's, siendo éstos una serie de símbolos o códigos para realizar el diagrama de proceso del trabajo y permitir su análisis. Ellos trabajaron en base a realzar la importancia de considerar al ser humano dentro de la

planificación del trabajo y en la determinación del tiempo de producción. (Burgos, 2012)

Los esposos Gilberth lograron que la industria se diera cuenta de la importancia que tiene el hecho de que los estudios de movimientos y micromovimientos del trabajador tienen relación con su capacidad para aumentar la producción y reducir la fatiga. Considerando los aportes realizados por Taylor y los esposos Gilberth, tanto Ely Whitney y posteriormente Henry Ford comienzan a trabajar en conceptos nuevos como las líneas de ensamble.

El término Ergonomía, según Mondelo et al., (2000) proviene de las palabras griegas ergon (trabajo) y nomos (leyes), la primera referencia a la ergonomía se puede encontrar en el libro de Wojciech Jastrzebowki de fecha 1857 titulado “Compendio de Ergonomía o de la ciencia del trabajo basada en verdades tomadas de la naturaleza”. Sin embargo, es Murrell, según cita Modelo et al., (2000) quien acuña el término moderno y el cual ha sido aprobado oficialmente durante la creación, en julio de 1949, de la primera Sociedad de Ergonomía (Ergonomics Research Society) fundada por un grupo multidisciplinario de profesionales dentro de los que se contaba con ingenieros, fisiólogos y psicólogos británicos con el fin de “adaptar el trabajo al hombre”. La Ergonomía se expandió durante la Segunda Guerra Mundial debido a la producción de alta tecnología en aviones y armas de guerra que no fueron adecuadas para las personas que las manipulaban, los ingenieros y fisiólogos comenzaron a

diseñar técnicas para “adaptar el trabajo al hombre”, definiciones adicionales de Ergonomía se citan en la tabla No. 3.

Tabla No. 3
Definiciones de Ergonomía

Autor	Año	Definición	Palabras clave
Murrell	1965	“La Ergonomía es el estudio del ser humano en su ambiente laboral”	Ser Humano Ambiente Laboral
Singlenton	1969	“Es el estudio de la interacción entre el hombre y las condiciones ambientales”.	Interacción humano/Condiciones ambientales
Grandjean	1969	“Es el estudio del comportamiento del hombre en su trabajo”	Comportamiento del hombre Trabajo
Faverge	1970	“Es el análisis de los procesos industriales centrado en los hombres que aseguran su funcionamiento”.	Procesos industriales Hombre
Montmollin	1970	“Es una tecnología de las comunicaciones dentro de los sistemas hombres-máquinas”.	Tecnología de las comunicaciones hombre-máquina
Wisner	1973	La Ergonomía es el conjunto de conocimientos científicos relativos al hombre y necesarios para concebir útiles, máquinas y dispositivos que puedan ser utilizados con la máxima eficacia, seguridad y confort.	Conocimientos científicos relativos al hombre Concebir útiles, máquinas y dispositivos
Cazamian	1973	“La Ergonomía es el estudio multidisciplinar del trabajo humano que pretende descubrir sus leyes para formular mejor sus reglas”.	Estudio multidisciplinar

Según las definiciones anteriores, la autora de la presente investigación considera que aún se puede ampliar definición de Ergonomía, ya que los conceptos anteriores se basan específicamente en la relación hombre-trabajo, sin embargo la Ergonomía está presente en todos los ambientes en los que se desenvuelve la persona, tales como las escuelas o el hogar como lo avalan investigaciones de Medina (2009), Castelluci et al. (2009); Manero et al. (2008), Gouvali et al., (2006); Panagiotopoulou

et al., (2004); Cervantes et al, (2004). En este sentido, se hace una nueva construcción conceptual como definición de Ergonomía que se expone a continuación:

“La Ergonomía es el estudio multidisciplinario de las interrelaciones del ser humano con su sistema de interacción (trabajo, escuela, hogar, entre otros), para adaptar los requerimientos de cada elemento del sistema (demanda exigida) a las capacidades antropométricas, cognitivas, fisiológicas y psicosociales del ser humano a fin de minimizar cualquier factor de riesgo a nivel biomecánico, fisiológico y psicosocial”.

Ahora bien, se puede clasificar la Ergonomía en dos grandes áreas:

- **Ergonomía Física:** La ergonomía física se preocupa de las características anatómicas, antropométricas, fisiológica, biomecánicas y humanas en tanto que se relacionan con la actividad física. Sus temas más relevantes incluyen las posturas de trabajo, manejo manual de materiales, movimientos repetidos, lesiones músculo-tendinosas (LMT) de origen laboral, diseño de puestos de trabajo, seguridad y salud ocupacional.

Otra definición relevante para el estudio es la relativa a la Biomecánica Ocupacional, la cual analiza la interacción del cuerpo humano con los elementos que

se relaciona en el trabajo, en la casa, para adaptarlos a sus necesidades y capacidades. Por su convergencia con los objetivos de la Ergonomía, es que estas dos disciplinas trabajan en colaboración para mejorar los sistemas objeto de estudio y lograr prevenir las lesiones músculo-esqueléticas relacionadas con el trabajo. Según Ríos et al. (2008), al estar soportada en ciencias exactas (biología y mecánica), se presenta como una herramienta al servicio de la estandarización, validación y generación de evidencia que aporten su saber a la comprensión biomecánica del ser humano.

- **Ergonomía Cognitiva:** La ergonomía cognitiva (o también llamada cognoscitiva) se interesa en los procesos mentales, tales como percepción, memoria, razonamiento, y respuesta motora, en la medida que éstas afectan las interacciones entre los seres humanos y los otros elementos componentes de un sistema. Los asuntos que le resultan relevantes incluyen carga de trabajo mental, la toma de decisiones, el funcionamiento experto, la interacción humano-computadora, la confiabilidad humana, el estrés laboral y el entrenamiento y la capacitación, en la medida en que estos factores pueden relacionarse con el diseño de la interacción humano-sistema.

Por otro lado, la carga de trabajo se define como el conjunto de demandas asociadas a la actividad laboral (Gueland, 1982), contemplando dos componentes: La Carga Física y la Carga Mental. Ver figura No. 3.

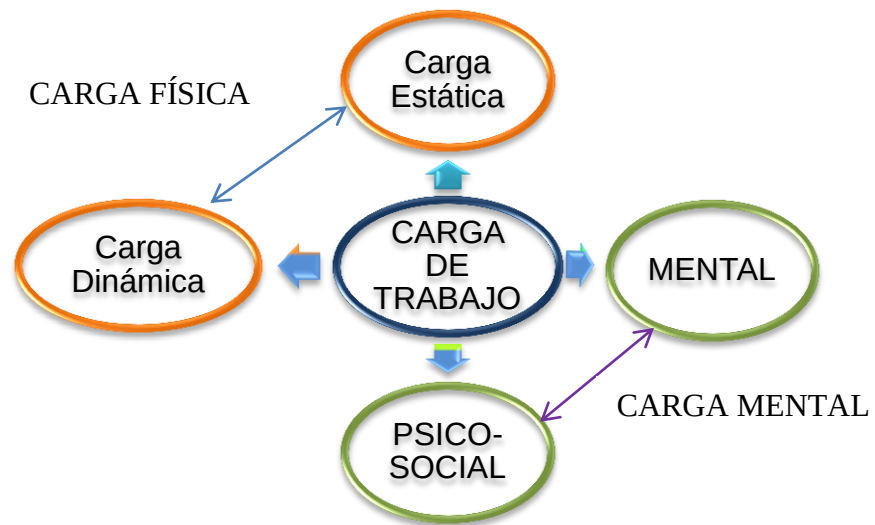


Figura No. 3. Carga de Trabajo. Fuente (Gueland, 1982).

La Carga Física está a su vez compuesta por la Carga Estática, referida al compromiso del cuerpo humano debido a la ejecución de las tareas; y la Carga Dinámica que involucra el consumo de energía requerido para realizar la actividad.

La Carga Mental según Acevedo (2011), se interesa en los procesos mentales tales como percepción, memoria, razonamiento, y respuesta motora, en la medida que éstas afectan las interacciones entre los seres humanos y los otros elementos componentes de un sistema y por otro lado los aspectos psicosociales que incluye la toma de decisiones, el funcionamiento experto, el estrés laboral y la capacitación.

Ahora bien, es imperativo hacer referencia a **Los Desórdenes músculo-esqueléticos**, que según Márquez (2007) son los desórdenes de músculos, tendones, nervios sistema vascular, u otros tejidos que pueden ser el resultado de esfuerzos, movimientos extremos, vibración, frío o calor, movimientos repetitivos y posturas sostenidas sin el tiempo de recuperación adecuado, “un empleado promedio pierde cerca de dos días de trabajo al año debido a algún tipo de problemas músculo-esqueléticos” (Márquez, 2007) y refiere que en el rango de edad comprendido entre los 18 y 64 años, la causa principal de discapacidad en las personas son problemas músculo-esqueléticos.

Putz-Anderson (1994) define Desorden Traumatológico Acumulativo como una lesión física que se desarrolla gradualmente sobre un periodo de tiempo, resultado de repetidos esfuerzos sobre una parte específica en los sistemas muscular y esquelético y puede variar en un rango de severidad entre suaves e intermitentes hasta debilitantes y crónicos. Esta definición no incluye lesiones músculo esqueléticas que resultan de caídas, atrapamientos, colisión de vehículos, violencia.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) incluye a los trastornos músculo-esqueléticos dentro del grupo de desórdenes relacionados con el trabajo, porque pueden ser causados tanto por exposiciones ocupacionales como por no ocupacionales. Muchas partes del cuerpo pueden ser afectadas por un trastorno músculo-esquelético, los trastornos más frecuentes relacionados con el trabajo son:

Dolor lumbar, trastornos de discos intervertebrales lumbares y cervicales; síndrome del manguito rotador o tendinitis de hombro; trastornos del sistema mano brazo (síndrome del túnel del carpo, síndrome de De Quervain, Epicondilitis, etc), Sinovitis y tendinitis en cualquier parte del cuerpo.

Algunas tareas con alto riesgo de trastornos en la espalda baja que pueden generar dolor lumbar son: manipulación de cargas, movimientos de dorso flexión, sedentarismo prolongada y exposición a vibraciones, alta carga estática. En relación al tipo de tareas que pueden generar trastornos en el hombro, se tienen aquellas que involucran acciones como flexión sostenida de hombro y exposición a vibraciones; movimientos repetitivos; flexión y abducción de hombro con repeticiones; flexión sostenida de hombro con abducción y flexión sostenida de hombro con repetición y aplicación de fuerza.

Algunas actividades con posible impacto en trastornos en codo, mano y muñeca son aquellas que contemplan movimientos manuales altamente repetitivos con postura forzada en la muñeca; o con aplicación de fuerza y aquellos que presentan alta repetitividad y exposición a ambientes fríos.

En las líneas de ensamble, las tareas exponen al trabajador a este tipo de lesiones debido a la presencia de factores de riesgo como las posturas inadecuadas, movimientos repetitivos, dorso flexión, manipulación de cargas.

Escalona et al (2002) define el factor de riesgo como un elemento de una operación o actividad que aumenta la posibilidad de enfermedad o daño físico del trabajador. Así clasifica los factores de riesgo como:

- Factores de riesgo físico: ruido, vibraciones, radiaciones, temperaturas, iluminación, ventilación.
- Factores de riesgo químico: exposición a sustancias químicas (polvos, humos, gases, vapores).
- Factores de riesgo biológico: exposición a bacterias, virus, hongos, insectos.
- Factores de riesgo mecánico: condiciones de las instalaciones físicas, servicios, seguridad de las maquinarias y equipos de trabajo.
- Factores de riesgos disergonómicos: posturas incómodas por diseño inadecuado del puesto de trabajo, esfuerzos físicos como levantar objetos pesados.
- Factores de riesgo psico-social (organización del trabajo): monotonía, falta de autonomía, repetitividad, etc.

Los trastornos músculo-esqueléticos ocupan el primer lugar en los diagnósticos efectuados por el Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laboral (INPSASEL), en los últimos años, los mismos están relacionados con dolor local o restricción de movimiento que afectan la calidad de vida de quien lo padece, suponen enormes gastos para el Estado Venezolano y disminuyen los niveles de calidad y productividad de las organizaciones. En la tabla No. 4, se muestra las estadísticas para Venezuela, en relación a los trastornos osteo-musculares para el año 2006.

Tabla No. 4

Estadísticas de trastornos músculo-esqueléticos en Venezuela año 2006

Código	Diagnóstico	Total
010-00	Trastornos músculo-esqueléticos	1580
010-01	Lumbalgia ocupacional	166
010-02	Protrusión y hernia discal	902
010-03	Síndrome del túnel carpiano	63
010-04	Otros (bursitis y síndrome de impacto articulación acromo- clavicular)	40
010-05	Hombro doloroso	19
010-06	Hernia cervicalgia inguinal / Umbilical–cervical	201
010-07	Otros no especificados	109

Fuente: INPSASEL, 2006.

La tabla anterior muestra la importancia de realizar estudios y mejoras en pro de la disminución de ambientes de trabajo con riesgos a producir lesiones músculo-esqueléticas en Venezuela y el mundo.

2.2.2 Aspectos Legales relacionados con la Salud y la Ergonomía.

Desde el punto de vista legal, al hablar de la normatividad en Ergonomía, es necesario aclarar, como se expone en Medina e Illada (2012) que deben existir organismos con la suficiente autoridad tanto jurídica como técnica, para desempeñar el rol de evaluador y certificador de una norma. A nivel internacional, el ente correspondiente es la Organización Internacional de Normalización (ISO), en Europa el organismo certificador se denomina Comité Europeo de Certificación (CEN-CENELECETSI), en España se encuentra la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

A nivel regional se pueden nombrar la Asociación Mercosur de Normalización (AMN), la Red de Normalización Andina (CAN), Caribbean Community Standarization (CARICOM).

En Venezuela se encuentra el Fondo para la Normalización y Certificación de la Calidad (FONDONORMA), también se encuentra la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), organismo creado en el año 1958 mediante Decreto Presidencial No. 501 cuya misión es planificar, coordinar y llevar adelante

las actividades de Normalización y Certificación de Calidad en el país, al mismo tiempo que sirve al Estado Venezolano como órgano asesor en estas materias.

Las Normas Venezolanas COVENIN son el resultado de un laborioso proceso que incluye la consulta y estudio de las Normas Internacionales, Nacionales, de asociaciones o empresas relacionadas con la materia, así como investigación a nivel de plantas y/o laboratorios según el caso. En la tabla No.5 se puede apreciar diferentes organismos a nivel internacional dedicados a la normatividad.

Tabla No. 5

Organismos Nacionales de Normalización que conforman la ISO en el mundo

País	Organismo
Alemania	Deutsches Institut für Normung
Argentina	Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM)
Bolivia	Instituto Boliviano de Normalización y Calidad
Chile	Instituto Nacional de Normalización
Colombia	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
Costa Rica	Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica
Cuba	Oficina Nacional de Normalización
Ecuador	Instituto Ecuatoriano de Normalización
El Salvador	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
España	Asociación Española de Normalización y Certificación
Estados Unidos	American National Standards Institute
Filipinas	Bureau of Product Standards
Francia	Association Francaise de Normalisation
Guatemala	Comisión Guatemalteca de Normas
Honduras	Consejo Hondureño de Ciencia y Tecnología
Japón	Japanese Industrial Standards Committee
México	Dirección General de Normas
Nicaragua	Dirección de Tecnología, Normalización Metrología
Panamá	Comisión Panameña de Normas Industriales y Técnicas

Ahora bien, en relación a los organismos internacionales que se abocan a promover la seguridad y salud en el trabajo, se pueden citar los siguientes que se exponen en Medina e Illada (2012):

- La Organización Internacional del Trabajo (OIT) es la agencia tripartita de la ONU y convoca a gobiernos, empleadores y trabajadores de sus estados miembros con el fin de emprender acciones conjuntas destinadas a promover el trabajo decente en el mundo y las condiciones laborales y económicas que permitan a trabajadores y a empleadores su participación en la paz duradera, la prosperidad y el progreso. Produce normas laborales internacionales en la forma de convenios y recomendaciones, estableciendo las condiciones mínimas de los derechos fundamentales en el trabajo: libertad sindical, derecho a la organización, negociación colectiva, abolición del trabajo forzoso, igualdad de oportunidades y trato, y otras normas que se refieren a todos los temas relacionados con el mundo del trabajo.

- La Organización Panamericana de la Salud (OPS) es un organismo internacional de salud pública con 100 años de experiencia dedicados a mejorar la salud y las condiciones de vida de los pueblos de las Américas. Goza de reconocimiento internacional como parte del Sistema de las Naciones Unidas, y actúa como Oficina Regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud, siendo el organismo especializado en salud, dentro del sistema interamericano.

- Organización Mundial de la Salud: se considera como la autoridad directiva y coordinadora de la acción sanitaria en el sistema de las Naciones Unidas, responsable de desempeñar una función de liderazgo en los asuntos sanitarios mundiales, configurar la agenda de las investigaciones en salud, establecer normas, articular opciones de política basadas en la evidencia, prestar apoyo técnico a los países y vigilar las tendencias sanitarias mundiales.

- Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo: creada por la Unión Europea (2011) y con sede en Bilbao, España, la EU.OSHA es el principal punto de referencia para la seguridad y la salud en el trabajo. La EU.OSHA pretende ser el principal proveedor de información y garantizar que sea útil para todo usuario, tanto como a trabajadores o empresarios, independientemente del tamaño de la empresa o del sector de actividad.

- El Instituto Nacional para la Seguridad e Higiene del Trabajo: órgano Científico-Técnico especializado de la Administración General del Estado Español que tiene como misión el análisis y estudio de las Condiciones de Seguridad y Salud en el Trabajo, así como la promoción y apoyo a la mejora de las mismas. También coopera con los órganos de las Comunidades Autónomas en la materia.

- Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH): integrada por el Departamento de Salud y Servicios Humanos (HHS) de EE.UU, agencia principal de gobierno para proteger la salud y proveer de servicios esenciales. Su cometido es desarrollar nuevos conocimientos y transferir ese conocimiento en práctica. Investiga las causas subyacentes de las enfermedades, lesiones y muertes en los trabajadores y desarrolla intervenciones para eliminar esas causas. Estas intervenciones incluyen el desarrollo de los controles técnicos, mejores prácticas y mejorar los programas de formación.

Sin embargo, la estandarización en el área de la Ergonomía comenzó en la década de 1970, cuando se crearon los primeros comités de estandarización en Alemania, con el “Deutsches Institut für Normung”, luego con la fundación de la Organización Internacional de Estandarización (ISO), los Comités Técnicos (TC) 159 de Ergonomía en 1975 y la Comisión Europea de Normalización (CEN) se establece el Comité Técnico (TC) 122 de Ergonomía en 1987 (Nachreiner, 1998).

En 1981, surge la primera norma internacional relativa a la Ergonomía, la ISO 6385 “Ergonomics principles in the design of work systems” publicada en ese año y establece las bases para las normas siguientes pues genera los conceptos básicos y declara los principios generales del diseño ergonómico de sistemas de trabajo, incluyendo tareas, instrumentos, maquinaria, espacio, el entorno de trabajo y la organización del mismo, aclara Nachreiner (1998) que este estándar internacional,

es un estándar de pauta, y como tal proporciona directrices para ser seguidas, por lo tanto no suministra los datos específicos técnicos o físicos que tienen que ser tratados.

Las Normas ISO se pueden agrupar según el tópico que desarrollan como por ejemplo la norma ISO 6385:2004, la cual versa sobre el diseño de sistemas de trabajo, sin embargo, el campo de normatividad en Ergonomía se define mejor según las áreas que desarrollan los subcomités del TC 159, tales como por ejemplo el SC-1, el cual desarrolla los principios básicos de la ergonomía, como términos y definiciones generales, el SC-3: trata sobre la antropometría y la biomecánica. SC-5: ergonomía del ambiente físico, también trata sobre comunicación del discurso y señales de peligro, entre otros. Ahora bien, debido a la importancia del tema abordado y a la cantidad de recursos invertidos en esta investigación, para el año 2005 ya se habían desarrollado en total 22 Normas Internacionales, 54 normas paralelas en Europa e Internacionales (EN ISO), 24 normas europeas (CEN) y diferentes normas nacionales en el campo de la ergonomía (Nachreiner, 2006). En el 2011, la ISO publicó la nueva norma 26800-2011 sobre Ergonomía: Generalidades, principios y conceptos, la cual describe los principios ergonómicos fundamentales con el fin de mejorar la seguridad, rendimiento y la usabilidad (eficacia, eficiencia y satisfacción).

De lo anterior expuesto, se han desprendido iniciativas para fundar organizaciones que agrupan a los investigadores y trabajadores en el área de la Ergonomía, en este sentido, a nivel mundial, se encuentra la Asociación Internacional

de Ergonomía (IEA) fundada en Zurich, Suiza, como la federación de factores humanos y ergonómicos práctica la Ergonomía, ampliar su alcance para contribuir a la mejora de la calidad de vida de la sociedad, trabajando de forma estrecha con sus asociados y las organizaciones internacionales. Otro organismo de este tipo a nivel regional es la Unión Latinoamericana de Ergonomía (ULAERGO) cuyos países miembros son México, Colombia, Brasil, Argentina, Chile, Cuba, Venezuela, Perú y Bolivia. En la tabla No.6 se listan algunas de estas organizaciones distribuidas por países.

Tabla No. 6
Asociaciones de Ergonomía por países

País	Nombre de la Asociación	Siglas
Argentina	Asociación de Ergonomía Argentina	ADEA
Brasil	Asociación Brasileira de Ergonomía	ABERGO
Bolivia	Sociedad Boliviana de Ergonomía	SOBOLERGO
Chile	Sociedad Chilena de Ergonomía	SOCHERGO
Colombia	Sociedad Colombiana de Ergonomía, Unión Latinoamericana de Ergonomía.	SCE ULAERGO. Colombia
España	Asociación Española de Ergonomía	AEE
México	Sociedad de Ergonomistas de México	SEMAC
Perú	Sociedad Peruana de Ergonomía	SOPERGO
Venezuela	Unión Venezolana de Ergonomía y Salud.	UVIERSO

Estas agrupaciones promueven la difusión de las investigaciones que, alrededor de la Ergonomía, se desarrollan tanto a nivel nacional como internacional.

En Venezuela, la normativa vigente que aborda el bienestar y la salud del trabajador se encuentra contenida, como se resume en Medina e Illada (2012), en la

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (CRBV) DE 1999, La Ley Orgánica del Trabajo, los Trabajadores y las Trabajadoras (LOTTT) de 2012, la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT) de 1986, reformada en 2005, el Reglamento Parcial de la LOPCYMAT de 2007 y la Ley Orgánica del Sistema de Seguridad Social (LOSSS) dictada en 2002, última reforma en abril 2012.

La CRBV en su artículo 83 consagra el derecho a la salud, señalando: “La salud es un derecho social fundamental, obligación del Estado, que lo garantizará como parte del derecho a la vida”. Así como en el artículo 86, se dispone lo siguiente:

Toda persona tiene derecho a la seguridad social como servicio público de carácter no lucrativo, que garantice la salud y asegure la protección en contingencias de maternidad, enfermedad, invalidez, enfermedades catastróficas, discapacidad, necesidades especiales, riesgos laborales, pérdida de empleo, desempleo, vejez, viudedad, orfandad, vivienda, cargas derivadas de la vida familiar y cualquier otra circunstancia de previsión social...

Así mismo, en el artículo 87 se consagra la obligación de todo patrono de garantizar a sus trabajadores condiciones de seguridad, higiene y ambiente de trabajo adecuados, evaluando el trabajo desde los conceptos de productividad, calidad, pero

también desde el punto de vista de salud física y psicológica porque todos estos aspectos repercuten uno sobre otro, dentro de la organización y del trabajador.

De la misma manera, la LOTTT promueve la prevención tanto de accidentes de trabajo como de enfermedades ocupacionales, así se declara en el Capítulo V “De las Condiciones Dignas de Trabajo”, específicamente en el artículo 156, el cual establece que “El trabajo se llevará a cabo en condiciones dignas y seguras, que permitan a sus trabajadores y trabajadoras el desarrollo de sus potencialidades, capacidad creativa y pleno respeto a sus derechos humanos...”

Sin embargo, dentro de este marco jurídico reviste gran importancia la LOPCYMAT promulgada en 1986 y reformada en 2005 para adaptarla al Régimen Prestacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, cuyo objeto es:

Establecer las instituciones, normas y lineamientos de las políticas, y los órganos y entes que permitan garantizar a los trabajadores y trabajadoras, condiciones de seguridad, salud y bienestar en un ambiente de trabajo adecuado y propicio para el ejercicio pleno de sus facultades físicas y mentales, mediante la promoción del trabajo seguro y saludable, la prevención de los accidentes de trabajo y las enfermedades ocupacionales, la reparación integral del daño sufrido y

la promoción e incentivo al desarrollo de programas para la recreación, utilización del tiempo libre, descanso y turismo social... (Artículo 1)

En la tabla No. 7 se resume la relación existente entre la LOPCYMAT y otras disposiciones que regulan la materia:

Tabla No. 7

Relación de la LOPCYMAT con otras disposiciones que regulan la materia

Ley o Disposición	Artículo	Consideraciones
Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (CRBV)	87	Establece que todo patrono o patrona garantizará a sus trabajadores y trabajadoras condiciones de seguridad, higiene y ambiente de trabajo adecuados.
Ley Orgánica del Trabajo, las Trabajadoras y los Trabajadores (LOTTT)	156	Establece que el trabajo se llevará a cabo en condiciones dignas y seguras.
Ley Orgánica del Sistema de Seguridad Social. En lo relativo al Régimen Prestacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (LOSSS)	92	Promueve el trabajo seguro y saludable, además del control de las condiciones y medio ambiente de trabajo.
Convenio de la OIT No. 155 sobre la Salud y Seguridad de los trabajadores (1981).	Convenio 155	Formular y poner en práctica una política nacional cuyo objetivo sea el de prevenir los accidentes y daños para la salud que sean consecuencia del trabajo.

Continuación Tabla No. 7

Recomendación No. 164 sobre Seguridad y Salud de los Trabajadores (1981).	Recomendación No. 164	Adoptar medidas apropiadas a las características de los diferentes tipos de trabajo e identifica los diferentes ámbitos de acción.
Reglamento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo.	Decisión 584	Instrumento donde se establecen las normas en materia de seguridad y salud en el trabajo en los países del Pacto Andino.

Específicamente, en el título V de la LOPCYMAT se refiere a la Higiene, Seguridad y la Ergonomía, y en su artículo 59 da soporte a la presente investigación cuando considera lo siguiente:

A los efectos de la protección de los trabajadores y trabajadoras, el trabajo deberá desarrollarse en un ambiente y condiciones adecuadas, de manera que: 1) asegure a los trabajadores y trabajadoras el más alto grado posible de salud física y mental. 2) Adapte los aspectos organizativos y funcionales, y los métodos, sistemas o procedimientos utilizados en la ejecución de las tareas, así como las maquinarias, equipos, herramientas y útiles de trabajo a las características de los trabajadores y trabajadoras, y cumpla con los requisitos establecidos en las normas de salud, higiene, seguridad y ergonomía. 3) Preste protección a la salud y a la vida de los trabajadores y trabajadoras contra todas las condiciones peligrosas en el trabajo.

En el artículo anterior, se dan claras directrices para la protección del trabajador, sin embargo, no establece ciertos aspectos como por ejemplo las responsabilidades del patrono y las actividades específicas para lograr dicha protección al trabajador, estos elementos se pueden encontrar en otros artículos de la Ley y en su respectivo Reglamento Parcial.

Así como en los artículos 60 y 63 de la mencionada Ley se expone la necesidad de la aplicación de la Ergonomía para desarrollar puestos de trabajos seguros y confiables, que puedan ser adaptados a cada trabajador y a sus características, tanto psicológicas, cognitivas, culturales y antropométricas y el en artículo 63 toma en consideración a la Ergonomía como medio para el diseño y concepción de los puestos de trabajo. Lo anterior evidencia que las líneas de producción o de ensamble deben planificarse considerando de forma imperativa, desde su génesis, no sólo aspectos de niveles de producción, tiempos de fabricación o ensamble, costos del proceso, mano de obra, equipos y herramientas necesarias, sino también los aspectos fisiológicos, biomecánicos y los psicosociales de las actividades por ende, la Ergonomía es parte vital de este proceso.

Se puede decir que la reforma de la LOPCYMAT en el año 2005 abrió un abanico de oportunidades para las mejoras de los puestos de trabajo desde el punto de vista ergonómico que había sido, en Venezuela, una ciencia opacada por otras y este marco legal, contentivo de sanciones, pone en el tapete la obligación de mirar al

trabajador y al puesto de trabajo no sólo desde el punto de vista de prevención de accidentes laborales sino también desde la acción preventiva a enfermedades ocupacionales, dentro de las que se encuentran las lesiones músculo-esqueléticas, cuyo impacto se ve reflejado en las estadísticas dadas por el Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laboral (2010), en el año 2006, año en que se diagnostican 2.066 enfermedades ocupacionales de las cuales 1.580 casos fueron lesiones músculo-esqueléticas como lumbalgias, protrusión y hernias discales, entre otras, representando el 77% de todas las enfermedades ocupacionales.

Gran parte de las disposiciones contenidas en la LOPCYMAT, remiten a su Reglamento y en efecto, en 2007 se dictó el mismo donde se desarrollan aspectos relativos al INPSASEL, a los Servicios de Seguridad y Salud en el Trabajo, a las empresas y profesionales del área de seguridad, de los Delegados de Prevención, a los Comités de Seguridad y Salud Laborales, a las políticas y programas de seguridad en las empresas, y a la notificación y declaración de infortunios laborales.

Este Reglamento Parcial lleva por objeto desarrollar las normas de la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo dirigidas a:

1. Promover y mantener el más alto grado de bienestar físico, mental y social de los trabajadores y las trabajadoras en todas las ocupaciones.
2. Prevenir toda causa que pueda ocasionar daño a la salud de los trabajadores y las trabajadoras, por las condiciones de trabajo.

3. Proteger a los trabajadores y las trabajadoras asociados y asociadas en sus ocupaciones, de los riesgos y procesos peligrosos resultantes de agentes nocivos.

4. Procurar al trabajador y trabajadora un trabajo digno, adecuado a sus aptitudes y capacidades.

5. Garantizar y proteger los derechos y deberes de los trabajadores y las trabajadoras, y de los patronos y las patronas, en relación con la seguridad, salud, condiciones y medio ambiente de trabajo.

Adicionalmente, en el año 2008, fue dictada en concordancia con el numeral 10 del art. 14 de la LOPCYMAT, la Norma Técnica Programa de Seguridad y Salud en el Trabajo (NT 01-2008), cuyo objeto es el de establecer las pautas y lineamientos desde el diseño hasta la evaluación de un Programa de Seguridad en el Trabajo. En un Programa de Seguridad y Salud en el Trabajo, tal como está establecido en la Norma Técnica antes mencionada, los trabajadores tienen participación activa a través de los “delegados de prevención” que establece la LOPCYMAT. Este Programa da fortaleza al ámbito y aplicación de la Ergonomía en el sector laboral en Venezuela, dado que establece una estructura para planificar los puestos de trabajo con miras a la prevención de accidentes y enfermedades ocupacionales contando con la participación tanto del patrono como del trabajador.

Existen otras normas contentivas de lineamientos y procedimientos para la aplicación de la Ergonomía en Venezuela, entre ellas se pueden citar las Normas

Covenin, tales como: la Norma 2273:1991. Principios Ergonómicos de la Concepción de los Sistemas de Trabajo: esta norma, de corte general, profundiza poco sobre los parámetros a considerar en relación a aspectos como dimensiones, límites de esfuerzo, especificaciones para factores del ambiente físico, entre otros, es más bien una guía sobre los puntos a tomar en cuenta de manera que para el diseño y mejora de puestos de trabajo se debe complementar la información con investigaciones que han determinado algunos de estos parámetros o las metodologías para calcularlos, por ejemplo, la Ecuación NIOSH (Waters, 1994), REBA (Hugnett y McAtamney, 2000) o algunos protocolos para cálculos específicos como la ISO 8996.

Las siguientes normativas son más específicas que la anterior, muestran con mayor amplitud los aspectos técnicos y los parámetros de trabajo, son normas que sirven como referencia para evaluaciones de áreas y puestos de trabajo: Norma 254-1995: Calor y Frío. Límites máximos permisibles de exposición en lugares de trabajo; Norma 1565-95: Ruido Ocupacional. Programa de Conservación Auditiva. Niveles Permisibles y Criterios de Evaluación; Norma 2250:2000 Ventilación de los lugares de trabajo; Norma 2255:91 Vibración Ocupacional.

2.2.3. Líneas de Ensamble y Balance de Línea. Historia. Conceptos.

Las líneas de ensamble fueron introducidas en la industria por Eli Whitney, quien desarrolló el sistema de manufactura americano en el año 1799 creando el

ensamblaje de partes de una manera repetitiva, usando conceptos de Ingeniería de Métodos como división del trabajo y tolerancias. Posteriormente en 1913, Henry Ford instala la primera línea de montaje móvil con el fin de disminuir costos y permitir la producción en masa.

El problema de balancear las líneas de ensamble, ha sido una situación tratada en el mundo industrial a lo largo de los años por diferentes autores y su vigencia permanece en un gran número de investigaciones.

Una línea de ensamble es una secuencia de estaciones de trabajo, frecuentemente conectadas por un sistema de manejo de materiales, cuyo objetivo es el de ensamblar un producto final. Dentro de esta línea, el proceso que se lleva a cabo consiste en una serie de operaciones, cada una compuesta por diversas tareas y una tarea consiste en un conjunto de elementos básicos e indivisibles en forma lógica (Nils et. al., 2007).

Para Capacho y Moreno (2004), “el problema de balance de líneas consiste en asignar las tareas a la secuencia ordenada de las estaciones, de tal manera que se satisfagan las relaciones de precedencia y se optimice una función objetivo, como por ejemplo minimizar el número de estaciones”.

En cuanto a los tipos de problemas que se consideran en el Balance de Líneas se tienen los siguientes según Capacho y Moreno (2004): el simple (Simple Assembly Line Balancing Problem, SALBP) o General (General Assembly Line Balancing Problem, GALBP).

El SALBP o tipo simple: incluye los problemas más sencillos, donde los parámetros de entrada se conocen, se consideran líneas de montaje simples (estaciones colocadas en serie), ensamblan un solo tipo de producto, consideran tiempos de procesos determinísticos y conocidos a priori (además independientes del proceso de la secuencia de las tareas), las relaciones de precedencia son conocidas y fijas, las estaciones pueden realizar cualquier tarea, y las tareas pueden ser procesadas en cualquier estación. Una ilustración de este tipo de líneas se aprecia en la figura No. 4.



Figura No. 4 Línea de Ensamble Simple.

Sin embargo, y teniendo en cuenta las características anteriores, se pueden distinguir cuatro casos distintos de SALBP citados en Restrepo et al., (2008):

- a) SALBP-1: se caracteriza por disponer de un tiempo de ciclo asignado (o tasa de producción) y se desea minimizar el número de estaciones que se requiere

para llevar a cabo el proceso. Es muy común que se dé cuando la demanda externa puede ser estimada y un nuevo sistema de ensamble o montaje vaya a ser instalado.

b) SALBP-2: en este caso, se parte de un número de estaciones de trabajo ya definido y se desea minimizar el tiempo de ciclo de la línea de ensamble. Esta situación se presenta generalmente cuando la línea de ensamble ya existe.

c) SALBP-E: se busca maximizar la eficiencia de la línea de montaje, es decir, se desea minimizar el número de estaciones y el tiempo de ciclo.

d) SALBP-F: en este caso no se busca maximizar ni minimizar ningún valor sino que se limita a encontrar si existe una solución factible para una combinación cualquiera de tiempo de ciclo y número de estaciones.

En el caso del General Assembly Line Balancing Problem (GALBP), este tipo de problemas engloban las líneas de ensamble que tienen modelos mixtos, estaciones en paralelo, procesamientos alternativos, tiempos de proceso variables, entre otros. Se caracterizan por dar cabida a problemas más reales y cotidianos que los SALBP. A continuación se describen este tipo de líneas de ensamble:

a) UALBP (U-line Assembly Line Balancing Problem): la línea de ensamble es una celda tipo U, en estas celdas de trabajo las estaciones pueden ser

colocadas de tal manera que se pueden manejar a la vez dos piezas en diferentes posiciones de la línea. En este tipo de líneas hay un mayor número de posibilidades de asignar las tareas a las estaciones, con lo que el problema se puede resolver de manera más eficiente que cuando se tiene una línea en serie. A su vez se puede dividir en tres clases: UALBP-1: cuyo objetivo será el de minimizar el número de estaciones. UALBP-2: enfocándose en minimizar el tiempo de ciclo y UALBP-E, el cual es maximizar la eficiencia de la línea.

La modificación de las líneas a tipo “U” ha sido consecuencia de la adopción de sistemas de producción tipo “Just-in-time” (JIT) en la manufactura, estas líneas no pueden ser balanceadas mediante el tradicional enfoque de agrupar las tareas dentro de estaciones de trabajo a través de un gráfico de precedencia, debido a que los trabajadores pueden operar en cualquier lado de la línea, ya que normalmente tiene un “layout” tipo “U”, es decir, un trabajador puede hacerse cargo de las tareas iniciales o finales del proceso de producción o ensamble, no respetando las restricciones de precedencia de las tareas. El problema simple de balance de líneas en “U” (U-line assembly line balancing problem (UALBP)) fue modelado por primera vez por Miltenburg y Wijngaard (1.994), definiéndolo como una minimización del número de estaciones de trabajo (N) para un tiempo de ciclo dado (C) siguiendo ciertas consideraciones Palominos y Godoy (2010). Estos autores, desarrollaron una metodología para abordar este tipo de problemas.

b) MALBP (Mixed Model Assembly Line Balancing Problem): balance de cargas con modelos mixtos, se caracterizan por tener varios modelos de un mismo producto, teniendo un conjunto de tareas común a realizar en la totalidad de los modelos. La producción no implica tiempos de puesta a punto entre una variante y otra, dado que se requieren las mismas operaciones básicas para producir todas las variantes; por tanto, se producen unidades de diferentes modelos en una secuencia mixta arbitraria.

c) Multi-modelos: se pueden fabricar diferentes tipos de productos en una misma línea, pero en este caso, los procesos de producción entre un tipo de producto (o modelo) y otro varían significativamente por lo que se producen secuencias de lotes; además, se consideran tiempos de puesta a punto entre lotes.

d) RALBP (Robotic Assembly Line Balancing Problem): balance de líneas robotizadas, se desea optimizar la ejecución de las tareas en la línea, considerando tanto la asignación de las tareas a cada una de las estaciones como la destinación de cada uno de los robots a las diferentes estaciones.

e) MOALBP: Multi-Objective Assembly Line Balancing Problem. Balance de cargas con objetivos múltiples, se caracterizan por buscar varios objetivos a la vez combinando, por ejemplo, minimizar el número de estaciones, el costo y

maximizar la eficiencia. La mayoría de los problemas de balance de cargas de trabajo buscan cumplir objetivos múltiples.

También debe considerarse que los dos tipos principales de problemas considerados anteriormente (SALBP y GALBP) se pueden subdividir teniendo en cuenta dos conceptos más:

- El tipo de producto que se procesa en la línea: modelo simple y modelo mixto (o múltiple).

- La variabilidad de las duraciones de las tareas: determinista o estocástico.

Otra clasificación que se puede encontrar es de acuerdo a los tiempos de duración de las tareas:

- Determinísticas: todos los tiempos de proceso de las tareas son conocidos con certeza.

- Estocásticas: la duración de una o más tareas es aleatoria o probabilística dado que la variabilidad en su tiempo de proceso es significativa.

- Dependientes: el tiempo de duración de una tarea depende, por ejemplo, del tipo de estación a la que ha sido asignada, del tipo de operador o de la secuencia.

Según Capacho et al (2004) las líneas de ensamble se clasifican también de acuerdo a:

1) La arquitectura de la línea según como se explica a continuación:

- Línea serial: se tienen estaciones simples colocadas en serie, en donde las tareas pasan consecutivamente de una estación a la próxima, por ejemplo, a través de una cinta transportadora.

- Línea con estaciones en paralelo: es una sola línea en la que se permiten estaciones en paralelo; es decir, se tienen dos o más estaciones idénticas que realizan en paralelo las mismas tareas, por tanto, los equipos requeridos para ejecutar las tareas deben instalarse tantas veces como estaciones en paralelo. Las estaciones en paralelo pueden ser usadas para solucionar el problema que se presenta cuando el tiempo de alguna tarea es mayor que el tiempo de ciclo, ya que el valor promedio de la duración de la tarea se reduce proporcionalmente al número de estaciones.

- Líneas paralelas: son varias líneas colocadas en paralelo, este tipo de configuración puede ser muy útil para el caso de modelos múltiples, en el que se asigna una línea para cada modelo o para cada familia de modelos. En el caso de líneas en paralelo se tiene un problema de diseño adicional: decidir cuántas líneas serán instaladas y cómo será distribuido el equipo y la fuerza de trabajo entre dichas líneas.

- Líneas de dos lados: consisten en dos líneas seriales en paralelo; en donde, en lugar de una estación simple, se tienen pares de estaciones opuestas en cada lado de la línea (estación derecha y estación izquierda) que procesan simultáneamente una misma pieza. Aunque puede ser usado para cualquier tipo de producto, las líneas de dos lados suelen implantarse para productos grandes en los que se requieren desarrollar tareas en ambos lados, un ejemplo clásico se presenta en la industria automotriz, en donde se deben realizar las mismas tareas en ambos lados del automóvil, de esta manera las tareas pueden ser asignadas a un lado de línea, otras pueden ser asignadas de manera indiferente a cualquiera de los lados y otras deben ser asignadas a ambos simultáneamente.

- Líneas circulares/cerradas, se puede tener una cinta circular/cerrada que sirva a todas las estaciones, en dicha cinta las piezas están circulando mientras son tomadas por los operadores (humanos o robots), quienes, una vez han terminado de procesar las piezas, las liberan de vuelta sobre la cinta, excepto quien realiza la última tarea que las deposita fuera de la cinta.

- Línea en forma de U: es una línea dispuesta en forma de U, como se mencionó anteriormente, las líneas U son una consecuencia de la introducción del principio de producción justo-a-tiempo dado que esta disposición de las estaciones hace más flexible el sistema de producción: las estaciones pueden trabajar en dos

segmentos de la línea de manera que estén de frente una a la otra. Esta configuración puede resultar en un mejor balance en la carga de las estaciones, dado que el número de combinaciones tareas-estación es más grande.

2) De acuerdo al tipo de flujo de las piezas:

- Sincrónicas. Todas las estaciones tienen un tiempo ciclo común y por tanto las piezas pasan de una estación a otra al mismo tiempo; de esta forma, no hay “*buffers*” entre estaciones.

- Líneas asincrónicas. Las estaciones están relacionadas a través de “*buffers*” que se colocan entre pares de ellas para almacenar piezas que se han procesado en las áreas de trabajo precedentes, en este caso las estaciones tienen velocidades de proceso diferentes. En este tipo de línea el problema de decisión es acerca de dónde colocar los “*buffers*” y el tamaño que tendrán.

- Líneas de alimentación. se pueden diseñar sistemas de montaje compuestos en los que tiene una o más líneas de alimentación (*feeder lines*), en las que se realizan sub-ensamblados; es decir, se tiene una línea principal en donde se van montando las piezas y algunas suplementarias que pre-procesan ciertas partes, para luego alimentar con productos intermedios al proceso de montaje principal. En

los problemas que consideren en este caso se presenta, además del problema de equilibrado, el problema de sincronizar la tasa de producción de las líneas de alimentación.

3) De acuerdo al tipo de operador:

- Líneas manuales: este tipo de línea, que puede o no ser automatizada, tiene operadores humanos.

- Líneas Robotizadas: son líneas en las que los operadores son robots y los procesos son totalmente automatizados. Cuando se tiene este tipo de línea, además de planificar el procesamiento de las tareas en las estaciones, se deben planificar las actividades de los robots.

4) De acuerdo a la disciplina de entrada de las piezas a la línea:

- Líneas de entrada fija: las piezas llegan a la línea a intervalos regulares, en el caso de líneas sincrónicas este intervalo es el tiempo de ciclo.

- Líneas de entrada variables: la tasa de entrada de las piezas a la línea es variable.

Existen además algunos conceptos importantes relativos al Balance de Líneas de Ensamble que es importante dejar claro para el desarrollo del presente trabajo, tomados de Gaither y Frazier (2000).

- Balanceo de Líneas: es el análisis de las líneas de producción o de ensamble, que divide prácticamente por igual el trabajo a realizarse entre estaciones de trabajo, de manera que sea mínima la cantidad de estaciones de trabajo requeridas en la línea.

- Tareas: Elemento de trabajo.

- Precedencia de la tarea: La secuencia u orden en la que deben ejecutarse las tareas.

- Tiempos de las tareas: El tiempo requerido para que un trabajador bien entrenado o capacitado o una máquina sin atención ejecute la tarea.

- Tiempo de ciclo: El tiempo, generalmente se expresa en minutos, entre productos que salen al final de la línea de producción o de ensamble. Este tiempo de ciclo, en la presente investigación se denomina Tiempo de Ciclo Teórico.

- Estación de trabajo: Ubicación física donde se realiza un conjunto particular de tareas.

- Cantidad mínima de estaciones de trabajo: el número mínimo de estaciones de trabajo que pueden cumplir con la producción requerida, calculado de la siguiente manera:

$$K = \frac{\text{Suma de todos los tiempos de las tareas}}{\text{Tiempo de ciclo}}$$

- Tiempo de Ciclo Real: Es el máximo valor asignado en las estaciones de trabajo.

- Tiempo de Ocio por estación: es la diferencia entre el tiempo de ciclo y el tiempo asignado en la estación.

- Tiempo de Ocio de una solución: Es la sumatoria de la diferencia entre el tiempo máximo asignado en a solución (Tiempo de ciclo real) menos el tiempo asignado en cada una de las estaciones que corresponde a la solución.

Ahora bien, el procedimiento para el Balanceo de Líneas se puede enumerar a continuación, según Gaither y Frazier (2000):

1. Determine las tareas que deben hacerse para complementar una unidad de un producto en particular.
2. Determine el orden o secuencia en la que deben llevarse a cabo las tareas.
3. Realizar un diagrama de precedencias.
4. Determinar el tiempo de las tareas.
5. Calcular el tiempo de ciclo.
6. Calcular el número mínimo de las estaciones de trabajo.
7. Realizar el balance a través de algún método de balanceo de la línea de producción o de ensamble.

El tipo de problemas de balance de líneas es de optimización combinatoria, y se pueden resolver a través de métodos tradicionales de la investigación de operaciones o con métodos heurísticos, para ello se expresa lo siguiente:

- Métodos Tradicionales de la Investigación de Operaciones: como la Programación Dinámica, Programación Entera y Teoría de Redes. Estos métodos se ajustan a problemas de tamaño mediano.

- Métodos Heurísticos: como la heurística de utilización incremental o la del tiempo de tarea más largo. Las heurísticas ayudan a dar soluciones satisfactorias a problemas de mayor magnitud.

Algunos procedimientos o heurísticas citados por Gaither y Frazier (2000) disponibles para el balance de líneas de ensamble son los siguientes:

- Heurística de la utilización incremental: va agregando tareas a una estación de trabajo según su orden de precedencia (una a la vez) hasta que se observa una utilización de la línea de 100 por ciento. Entonces se repite el procedimiento en la siguiente estación de trabajo con las tareas que quedan. Esta heurística es apropiada cuando uno o más tiempos de las tareas es igual o mayor al tiempo de ciclo.

- Heurística del tiempo de tarea más largo: Agrega una tarea a la vez en el orden de precedencia de las tareas. Si debe elegirse entre dos tareas, se agregará aquella que tenga el tiempo de tarea más largo. Esta heurística se usa sólo cuando todos y cada uno de los tiempos de las tareas son inferiores o iguales al tiempo de ciclo y no pueden haber estaciones de trabajo duplicadas.

Sin embargo, ninguno de estos métodos considera los aspectos biomecánicos razón por la cual esta investigación se enfoca en el diseño de una herramienta que los incorpore dentro de la evaluación.

2.2.4. Heurística. Definición.

La etimología de la palabra Heurística, según Beuchot (2000) viene del griego év (eu) que significa bien; y qéiv (rein) correr, es decir, correr bien; acepción aledaña a la de método, atravesar un camino, (Beuchot, 2000, p. 101). La heurística ayuda a recorrer bien el camino metodológico, lleva al descubrimiento más que a la demostración de lo descubierto.

Rendón y Hernández (2010) afirma que en filosofía de la ciencia es cada vez más común distinguir entre el contexto de justificación y el contexto de descubrimiento, para esto los autores el primero posee el valor de la objetividad, producto de aplicación de la metodología; el segundo contiene el valor de la creatividad y el descubrimiento, resultado de capacidades extra-racionales como la intuición, imaginación, sentimiento. Si la metodología incluye rigurosidad y sistematicidad para verificar, comprobar, demostrar o falsear hipótesis, la heurística ayuda a encontrar y plantear problemas novedosos e interesantes, y a proponer posibles soluciones que a su vez han de ser sometidas a prueba por métodos más rigurosos.

Dentro de las definiciones relevantes para el estudio está la relativa a Metaheurística, siendo éstas las estrategias para diseñar procedimientos heurísticos. Según Melian et al (2003), las metaheurísticas se pueden clasificar según el tipo de

procedimientos a los que se refiere, así se tiene, según Melian et al (2003), las siguientes categorías:

- Metaheurísticas de Relajación: procedimientos de solución de problemas que utilizan relajaciones del modelo original, es decir, modificaciones del modelo que hacen el problema más fácil de resolver.

- Metaheurísticas constructivas: son aquellos procedimientos que tratan de obtener la solución a través del análisis y selección paulatina de los componentes que lo conforman.

- Metaheurísticas de búsqueda: orientan a los procedimientos que usan transformaciones o movimientos para recorrer el espacio de las soluciones alternativas y explorar las estructuras de entorno asociadas.

- Metaheurísticas evolutivas: están basadas en los procedimientos que conforman un conjunto de soluciones que evolucionan sobre el espacio de soluciones.

Un algoritmo heurístico es un procedimiento que permite encontrar una solución y que suelen diseñarse de un modo específico para cada problema. En términos matemáticos la palabra heurística hace referencia a un procedimiento que

busca una solución aunque no garantiza encontrar la mejor solución, mientras que en Inteligencia Artificial una función heurística se refiere a aquella que dirige la búsqueda o construcción de una solución, utilizando algún mecanismo más o menos sencillo.

Ahora bien para esta investigación la heurística que mejor se ajustó a las características del problema planteado y a través de la cual se desarrolló el algoritmo para alcanzar los objetivos propuestos fue la de tipo constructiva, considerando estas heurísticas como aquellas que en cada paso añaden un elemento más a una solución que no ha sido completamente construida. Las heurísticas constructivas son aplicables cuando el problema en estudio se puede solventar mediante decisiones sucesivas, como por ejemplo rutas, secuenciación, líneas de montaje, como se observa en las investigaciones de Cano (2006), Bolat y Yano (1992), Yano y Rachanadugu (1991).

Aunque cada heurística constructiva es diferente, se pueden seguir ciertas alternativas que permiten plantear algoritmos heurísticos tales como:

- Regla de prioridad: se asignan valores a los objetos que se van a seleccionar en el proceso de construcción y se utilizan para elegir la siguiente opción. Estos valores pueden ser fijos o variar en cada decisión.

- Dirección de construcción: cuando se identifica una dirección de construcción. Generalmente la dirección de construcción es hacia adelante, pero se encuentran heurísticas que funcionan hacia atrás o en ambas direcciones.
- Técnicas de reducción previa: ésta es una opción en la que se analiza previamente el problema y se puede reducir la dimensión, por ejemplo, eliminar sub-secuencias debido a los altos costos de los mismos.
- Heurística de paso múltiple: el procedimiento consiste en repetir el cálculo cambiando las reglas de decisión o incluso tomando decisiones de modo estocástico.
- Heurística multistart: en este caso se repite la heurística pero comenzando cada vez por un elemento diferente.

Para plantear el algoritmo heurístico de la investigación se orientó sobre la llamada dirección de construcción, ya que se trabajó hacia adelante generando las alternativas de solución del balance de líneas con la asignación las actividades en las diferentes estaciones, tomando en cuenta el tiempo de ciclo teórico y las precedencias de las mismas. Posteriormente se establece un procedimiento de valoración de las alternativas factibles generadas a través de esta heurística para la valoración del riesgo ergonómico de cada una de ellas y ponderar a través de la función

multiobjetivo a proponer en la investigación, las mejores alternativas de balance de líneas y de riesgo biomecánico.

2.2.5. Métodos de Evaluación de Riesgos a Lesiones Músculo-esqueléticas:

Entre los métodos de evaluación aplicados para la evaluación de los riesgos a lesiones músculo-esqueléticas se cuentan:

a) Ecuación NIOSH: Inicialmente, el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Laboral (NIOSH) de USA, en 1981 publicó una Guía Práctica del Trabajo de Levantar y Bajar Cargas, contando con una ecuación que permite determinar el peso máximo a levantar de forma segura, en función de ciertas características que toma en cuenta la ecuación. Posteriormente, en 1985, se nombró un comité del Instituto conformado para la revisión de las metodologías sobre manipulación de cargas y levantamiento de pesos, y como resultado formuló una ecuación revisada para trabajos de levantamientos de cargas. (Waters, 1994).

La Ecuación NIOSH permite combinar tres criterios para determinar el límite de peso recomendado los cuales son: criterio biomecánico, permite limitar el compromiso de la parte baja de la espalda siendo ésta la zona más sensible en las tareas de levantamiento de cargas; el criterio fisiológico, limita el esfuerzo metabólico y la fatiga originada por las actividades de la tarea y el criterio psicofísico

limita la carga en función de la percepción de los trabajadores sobre su capacidad de levantamiento.

Este método evalúa las siguientes zonas del cuerpo: cuello, hombro, espalda baja o zona lumbar, considerando la postura, la repetitividad o duración de la tarea y el levantamiento de cargas como factores de riesgo.

b) Tablas de Snook y Ciriello: Las Tablas de Snook y Ciriello (1991) o también conocidas como Tablas de Liberty Mutual, es un método desarrollo con base en la psicofísica¹, esto hace que el método estime los efectos combinados de factores biomecánicos y fisiológicos de levantar o bajar cargas en forma manual, ya que el método se fundamente en el reporte de los mismos trabajadores, el límite “aceptable” percibido puede ser diferente del límite “seguro” real. Este método se puede aplicar cuando:

- Se desea un cálculo aproximado del peso aceptable máximo para las tareas de elevación.
- No se utiliza ninguna técnica particular en las tareas de elevación.
- La frecuencia de la tarea es menor que o igual a 4.3 elevaciones por minuto.

¹ Psicofísica: Es una rama de la psicología que involucra el estudio de la respuesta del ser humano a la estimulación. Snook (1978)

- Establecer estándares de elevación junto con consideraciones conjuntas de tipo epidemiológicos, biomecánicos y fisiológicos.

Este método es afectado por las variables que se deben asumir, limitando su formalidad y alcance, sin embargo, es una herramienta útil cuando se aplica en las circunstancias adecuadas y teniendo en cuenta las debilidades del mismo. (Márquez, 2007).

El peso máximo aceptable según las tablas de Snook y Ciriello es aquel que una persona puede levantar a una frecuencia dada y durante determinado tiempo, sin llegar a fatigarse excesivamente, contando las tablas con percentiles que indican los pesos máximos permitidos para el 10, 25, 50, 75 y 90% de la población masculina o femenina. Este método evalúa las siguientes zonas del cuerpo: cuello, hombro, espalda baja (lumbar) y miembros inferiores; considerando la postura, fuerza de halar y empujar, repetitividad o duración de la actividad y levantamiento de cargas como factores de riesgo. (Snook y Ciriello, 1991).

c) Método REBA: El método “Rapid Entire Body Assessment, desarrollado por Hignett & Mc Atamney (2000), evalúa el análisis postural en los puestos de trabajo. Se fundamenta en la división del cuerpo humano en segmentos que pueden ser codificados individualmente, con referencia a planos de movimiento

(ver anexo No.1). Esta metodología propone un sistema de escala para actividades musculares por cambios rápidos, carga estática o dinámica y posturas inestables, e incluye el efecto del acoplamiento o agarre en el manejo de herramientas. El REBA hace una división del cuerpo humano en diferentes posturas, estableciéndose dos grandes grupos: Grupo A, en el cual se incluye el tronco, el cuello y las piernas estableciéndose un total de 60 combinaciones de posturas, y el Grupo B, donde se encuentran los brazos, antebrazos y muñecas, para los que se establecen hasta 36 combinaciones. Estas combinaciones y el factor de acoplamiento y fuerza generan un índice que representa el riesgo a sufrir de lesiones músculo esquelético catalogado en una escala de 0 a 15, desde bajo a muy alto riesgo, lo cual establece un nivel de acción recomendado.

En la figura No. 5 que se muestra a continuación se puede observar el formato del método REBA con el cual se realizan las evaluaciones en los puestos de trabajo.

FORMATO DE EVALUACIÓN REBA (Rapid Entire Body Assessment)

Dpto.:

Estación:

Evaluador:

Área:

Operación:

Decisión REBA:

GRUPO A.			
Tronco			
Movimiento	Puntuación	Corrección	
Erigido	1	Se suma +1 si punto si hay rotación o lateralización del tronco.	
Flexión: 0°-20°	2		
Extensión: 0°-20°	3		
Flexión: 20°-60°	4		
Extensión: >20°	5		
Flexión >60°	6		
Total:			
Cuello			
Movimiento	Puntuación	Corrección	
Flexión: 0°-20°	1	Se suma +1 si hay rotación o lateralización.	
Extensión >20°	2		
Flexión >20°	3		
Extensión >20°	4		
Flexión >60°	5		
Total:			
Piernas			
Posición	Puntuación	Corrección	
Soporte bilateral andando o sentado	1	Se suma +1 si hay flexión de rodilla 30°-60°	
Soporte unilateral soporte ligero o postura inestable	2	Se suma +2 si las rodillas flexiona >60°	
Total:			
Puntuación de la TABLA A			
Fuerza y/o Carga			
Peso	Puntuación	Corrección	
< 5 Kg.	0	Si hay impacto	
5 - 10 Kg.	1	o movimientos bruscos: + 1	
> 10 Kg.	2		
Total:			
Puntuación A			
(Puntuación de la TABLA A + puntuación Fuerza/Carga)			
Actividad			
Una o más partes del cuerpo se mantienen estáticas por más de 1 min.			
(±1)			
Pequeños movimientos repetitivos hechos más de 4 veces por minuto.			
(±1)			
Cambios rápidos de postura o postura inestable			
(±1)			
Total:			

GRUPO B			
Brazos			
Corrección	Puntuación	Posición	
Se suma +1 si hay: rotación o abducción, elevación de hombro.	1	Flexión: 0°-20°	
Se -1 si hay apoyo o postura a favor de la gravedad	2	Extensión: 0°-20°	
	3	Flexión: 20° - 45°	
	4	Extensión >20°	
Der. Total:		Flexión: 45°-90°	
Izq. Total:		Flexión >90°	
Total:			
Antebrazos			
Corrección	Puntuación	Movimiento	
Se suma +1 si hay rotación o lateralización.	1	Flexión: 60°-100°	
	2	Flexión <60°	
	3	Flexión >100°	
Der. Total:			
Izq. Total:			
Total:			
Muñecas			
Corrección	Puntuación	Movimiento	
Se suma +1 si hay rotación o lateralización.	1	Flexión: 0°-15°	
	2	Extensión: 0°-15°	
	3	Flexión >15°	
Der. Total:		Extensión >15°	
Izq. Total:			
Total:			
Puntuación de la TABLA B:			
Acoplamiento			
Izq. Total:	Der. Total:	Bueno	
		1	Acceptable
		2	Pobre
		3	Inacceptable
Puntuación B:			
(Puntuación de la TABLA B + Puntuación del acoplamiento)			
Puntuación C:			
(De la TABLA C)			
Izq. Total:	Der. Total:	Puntuación actividad	
Izq. Total:	Der. Total:	Puntuación DEL REBA (Puntuación C + Puntuación actividad)	

Puntuación del REBA	Decisión del REBA	Nivel de riesgo	Color de riesgo
1			VERDE
(2-3)		BAJO	VERDE
(4-7)		MEDIO	AMARILLO
(8-10)		ALTO	ROJO
(11-15)		MUY ALTO	ROJO +

Puntuación A	Puntuación B	Puntuación C
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
3 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	3 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	3 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
4 2 3 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	4 2 3 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	4 2 3 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
5 3 4 4 5 6 7 8 9 10 11 12	5 3 4 4 5 6 7 8 9 10 11 12	5 3 4 4 5 6 7 8 9 10 11 12
6 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	6 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	6 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
7 4 5 6 7 8 9 10 11 12	7 4 5 6 7 8 9 10 11 12	7 4 5 6 7 8 9 10 11 12
8 5 6 7 8 9 10 11 12	8 5 6 7 8 9 10 11 12	8 5 6 7 8 9 10 11 12
9 6 7 8 9 10 11 12	9 6 7 8 9 10 11 12	9 6 7 8 9 10 11 12
10 7 8 9 10 11 12	10 7 8 9 10 11 12	10 7 8 9 10 11 12
11 7 8 9 10 11 12	11 7 8 9 10 11 12	11 7 8 9 10 11 12
12 7 8 9 10 11 12	12 7 8 9 10 11 12	12 7 8 9 10 11 12

Fig. No. 5 Formato de Evaluación del puesto de trabajo según el método REBA

d) Método OCRA: Este método valora el riesgo de trastornos músculo esqueléticos de los miembros superiores por movimientos repetitivos, a fin de tomar acciones que permitan disminuir el riesgo a sufrir lesiones de hombro, codo y mano, cuello; considerando como factores de riesgo la postura, la fuerza de agarre, la fuerza de halar y empujar, la repetitividad y/o duración de la tarea, así como el levantamiento de cargas.

e) Método OWAS: es un método que evalúa la carga de trabajo impuesta por la postura. Basado en una clasificación simple y sistemática de las posturas combinadas con la observación de las tareas. Para aplicar el método se debe utilizar la observación directa de la postura del trabajador sobre un período de tiempo representativo. Posteriormente, la información recolectada se puede analizar de dos maneras: a) de acuerdo a la combinación del efecto de la posición de los segmentos del cuerpo, o por el tiempo en el cual se mantiene una determinada postura. Se utiliza una escala de cuatro puntos para valorar el efecto de la postura sobre el sistema músculo-esquelético (Márquez, 2007).

f) El Método L.E.S.T, es un método de análisis de las condiciones de trabajo elaborado por miembros del Laboratorio de Economía y Sociología del Trabajo (L.E.S.T), en Francia. Este método permite evaluar las condiciones de trabajo

de los puestos de trabajo de forma global, se ejecuta a través de una guía de observación e involucra un cuestionario donde se describe la tarea y se enumeran una serie de preguntas agrupadas en 5 bloques cuyas variables son: entorno físico, carga mental, carga física, tiempos de trabajo y aspectos psicosociales.

g) Evaluación Multitarea de la Carga Física: Este método se basa en la obtención de los valores medios ponderados y el método ergonómico REBA, fue desarrollado por Idoate & Pollán (2003) considerando los autores las subtareas de una actividad, con duración y compromisos posturales distintos, además toma en cuenta que la presencia de una postura forzada en una de estas sub-tareas no es compensable con una postura no forzada, debido a lo anterior, la evaluación multitarea de la carga física combina los tiempos de duración de elementos racionales de trabajo y sus respectivos compromisos posturales descritos a través del método REBA para obtener el nivel de riesgo a lesiones músculo esqueléticas. La importancia de este método es precisamente la consideración del tiempo de exposición a una postura específica y, por lo tanto, el resultado final guarda relación con la exposición al riesgo. La forma como se aplica este método se puede resumir en los siguientes aspectos:

- Listar en una tabla las subtareas y la duración de las mismas.
- Listar los valores de riesgo a lesiones músculo-esqueléticas, para las subtareas, tanto para el brazo, antebrazo y muñeca, así como para el tronco, cuello y las piernas.

- Calcular los valores corregidos de los valores REBA debido a la duración de las subtareas.
- Obtener los valores medios ponderados de los elementos del cuerpo antes mencionados.
- Obtener los valores corregidos de los valores REBA debido a la duración de las actividades, al peso y al acoplamiento y obtener los valores medios ponderados de la actividad.
- Aplicar nuevamente las tablas REBA con los valores corregidos, sumarlos los valores corregidos de peso y acoplamiento y obtener la puntuación final del método REBA.

Algunos métodos son específicamente usados en ensambladoras de forma corporativa como es el caso del método Suzanne Rodgers, el cual es una metodología de análisis ergonómico de puestos de trabajo, que estudia tres factores: nivel de esfuerzo, duración del esfuerzo antes de la relajación y la frecuencia de la activación de los músculos para efectuar la actividad, los cuales se utilizan para estimar la fatiga muscular que produce la actividad.

La evaluación de estos tres parámetros se realiza en las siguientes partes del cuerpo: cuello, hombro, espalda, codo, mano, miembros inferiores (piernas, rodillas, tobillos, pies y dedos).

También se ha venido aplicando un método denominado Modelo Simple para la Evaluación del Riesgo de Aparición de Lesiones Músculo-Esqueléticas (MODSI), (Manero et al., 2005), el cual es un método de evaluación de puestos de trabajo que considera la demanda biomecánica pero incluye en la evaluación aspectos psicosociales, es decir, las exigencias físicas y psicosociales de las tareas para realizar una evaluación integral del puesto de trabajo.

Este método evalúa el cuello, hombro, codo, mano, espalda (lumbar), miembros inferiores y considera un grupo mayor de factores de riesgo dentro de los que incluye la postura, la fuerza de agarre, la fuerza de halar y empujar, la repetitividad y duración de la tarea, vibraciones, levantamiento de cargas y factores psicosociales. Se requiere de un período de entrenamiento para la comprensión de los conceptos que involucra para la correcta estimación del nivel de riesgo a TME. Se encuentra en fase de validación por la comunidad científica, sin embargo, los resultados obtenidos hasta la presente fecha son satisfactorios.

En la tabla No. 5 se hace una comparación de los métodos de evaluación de riesgos a trastornos músculo-esqueléticos considerando la zona del cuerpo que

evalúa, así como también se puede observar en la tabla No. 5, los factores de riesgo que considera cada una de las metodologías. Esta comparación es sumamente útil para valorar qué metodologías emplear en esta investigación dado que se expone, de forma visual, tanto las zonas del cuerpo que evalúa cada método, así como los factores de riesgo a los cuales hacen énfasis.

Tabla No. 5
Métodos de Evaluación de Riesgos a Lesiones Músculo-Esqueléticas

Método de Evaluación	ZONAS DEL CUERPO							FACTORES DE RIESGO						
	C U E L L O	H O M B R O	C O D O	M A N O	B R A Z O	E S P A L D A	P I E R N A S	P O S T U R A	F U E R Z A D E A G A R R E	H A L T A /E M P U J A R	R E P E T I T I V I D A D	D U R A C I Ó N	V I B R A C I O N E S	L E V A N T A M I E N T O S
NIOSH	✓	✓				✓		✓			✓	✓		✓
Tablas de Snook y Ciriello	✓	✓				✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓
REBA	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓
Evaluación Multitarea de Carga Física	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓
OCRA	✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓		✓
OWAS					✓	✓	✓			✓				✓
MODSI	✓	✓	✓	✓		✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓

Como puede apreciarse en la tabla anterior, los métodos más completos en relación a las zonas del cuerpo que evalúan y los factores de riesgo son el método REBA, la Evaluación Multitarea de Carga Física y el MODSI, sin embargo, como la investigación actual se enfoca hacia los riesgos músculo esqueléticos relacionados con las exigencias posturales del cuerpo del trabajador, basado en que en investigaciones en el sector automotriz de Venezuela, como la realizada por Rodríguez et al., (2008b) se encontró que la biomecánica se sitúa en un renglón preponderante en la magnitud del nivel de riesgo a lesiones músculo-esqueléticas cuando se usa un instrumento de carácter integral para evaluar un puesto de trabajo, se consideró entonces para el desarrollo del método heurístico la metodología REBA. Además, es importante señalar que, por las características de las líneas de ensamble, fue necesario tomar en cuenta el tiempo de exposición al compromiso biomecánico, razón por la cual se trabajó también con el método Evaluación Multitarea de Carga Física, desarrollado por Idoate y Pollán (2003) en el cual se toma en consideración las sub-tareas contenidas en las tareas, así como el tiempo de cada una de ellas, y se basa en la obtención de un valor medio ponderado del método REBA.

CAPÍTULO III

DEL DOMINIO METODOLÓGICO

Las consideraciones realizadas en los capítulos anteriores requieren de una estructura metodológica para dar respuesta a las interrogantes y las disyuntivas discutidas, es por ello que a continuación se define el marco metodológico que funge como hilo conductor de la investigación.

3.1. Tipo de Investigación.

En capítulos anteriores se ha descrito la problemática existente en la actualidad sobre la ausencia de herramientas que aborden de manera simultánea el balance de líneas de ensamble y el balance de carga biomecánica, que refleje mejor un balance no sólo desde el punto de vista de tiempo y productividad sino también que distribuya las actividades de manera tal que minimice el riesgo biomecánico en la línea de ensamble. En consecuencia, y para dar cumplimiento al objetivo general de esta investigación definido como desarrollar un método heurístico para el balance de líneas de ensamble con consideraciones ergonómicas, y luego de haber realizado una revisión acerca de los diferentes tipos de investigaciones, se acordó que el tipo que más se ajusta a este estudio es de tipo proyectiva, la cual “propone soluciones a una situación determinada a partir de un proceso de indagación, exploración, descripción,

explicación y propone alternativas de cambio...” (Hurtado 2010) Además agrega “Todas las investigaciones que implican el diseño o creación de algo con base en un proceso investigativo, entran en esta categoría” (Ob. Cit., pág 114).

Es así como se pretende proponer un método heurístico que integre en una misma herramienta las consideraciones tradicionales del balance de líneas de ensamble con las consideraciones orientadas a la disminución del riesgo biomecánico en estaciones de trabajo. Para ello se realizó el proceso de indagación de las variables tanto a nivel de balance de líneas como las inherentes a la ergonomía que son sensibles a las líneas de ensamble, y para experimentar y validar el método se consideraron aquellas que tienen impacto dentro del sector automotriz: número de actividades, tiempo de cada una de ellas, precedencias; los factores de riesgo a lesiones músculo esqueléticas dentro de este sector, métodos de valoración ergonómica sensibles a los factores de riesgo asociados al caso de estudio, entre otras.

Posterior a lo anterior, se debió explorar a través de qué método se desarrollaría la heurística, para lo cual se realizó una revisión documental de las diferentes estrategias disponibles a fin de conciliar aquella que diera respuesta a las necesidades del problema, definiéndose entonces una heurística de construcción como la que más se ajusta a las características del problema,

Seguidamente se procedió a la descripción y explicación de la metodología que se propone en la investigación como alternativa de cambio, es decir, la creación del método BLEER desarrollado a través de un proceso investigativo, para dar respuesta al problema planteado.

3.2. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación consideró el uso de fuentes mixtas, es decir se apoyó en la investigación documental, y de campo (Hurtado, 2010).

En una etapa inicial, la investigación se condujo a través de la revisión de artículos publicados, referentes a los temas de: evaluaciones ergonómicas en líneas de ensamble en general y en el sector automotriz, balance de líneas de ensamble, métodos heurísticos aplicados en procesos de producción y de ensamble, así como revisión de literatura en textos sobre aspectos teóricos de balance líneas de ensamble, ergonomía, normativa a nivel nacional e internacional, metodologías para valoración de niveles de riesgo biomecánico, para el desarrollo del método heurístico con el fin de dar cumplimiento a los primeros objetivos específicos.

Posteriormente se realizó una investigación de campo, mediante un diseño transaccional, pues los datos de la investigación se tomaron en tiempo presente y refiriéndose a un diseño de caso, específicamente en la línea de tapicería de una

ensambladora de vehículos de la Zona Industrial del Estado Carabobo. Esta etapa de la investigación permitió validar el método heurístico diseñado.

3.3 Técnicas de recolección y análisis de la información

En la investigación se usaron dos técnicas de registro de información tales como:

a) Revisión documental: a través de matrices de análisis, para interpretar el evento de estudio descrito en los documentos revisados como artículos científicos o tesis.

De esta revisión documental se obtuvo información relativa a los factores de riesgo a lesiones músculo-esqueléticas en líneas de ensamble, métodos de valoración ergonómica de mayor uso en las empresas ensambladoras, así como los parámetros de estudio para el balance de línea.

b) Observación, para la identificación de rasgos existentes en el objeto de estudio que influyeron en el balance de líneas y de las cargas de trabajo. Se requirió también del análisis de los elementos que intervienen en el proceso de balance a través de dos perspectivas: estudio del proceso y estudio de las demandas del trabajo, para ello se emplearon herramientas como:

- Diagramas de precedencias del proceso: este diagrama es de suma importancia para el desarrollo de las diferentes alternativas de balance que pueden generarse para la línea de tapicería que es el caso de estudio.
- Diagrama de distribución en planta: el cual permitió ubicar las estaciones de trabajo en el área de tapicería.
- Estudios de tiempos: proporcionaron el tiempo de cada actividad dentro del proceso, el tiempo estándar del proceso de ensamble.
- Métodos de valoración del riesgo biomecánico: Esta información es de suma importancia porque forma parte de los insumos requeridos para el desarrollo del método y para aplicarlo a fin de verificar su funcionabilidad y utilidad.

3.4. Unidad de Análisis

La unidad de análisis, para esta investigación, se basó en las líneas de ensamble del sector automotriz venezolanos y sus trabajadores, ya que este sector para el año 2008 contaba con 10.245 empleados directos siendo alrededor del 0.1%

de la población ocupada del país. (INE, 2011). También es relevante señalar que en los estados Carabobo y Aragua se encuentran cinco de las siete ensambladoras del país, lo cual permite tener acceso al proceso y, en adición a lo anterior, el sector automotriz es uno de los sectores de producción donde se observa una alta prevalencia de trastornos músculo esqueléticos (Punnet et al, 2004).

Concretamente se desarrollan lesiones en el sistema osteo-muscular, como se dijo anteriormente, a causa del empleo repetido de herramientas y equipos vibratorios, tareas que exigen girar la mano continuamente, aplicación de fuerza en una postura incómoda, aplicación de presión excesiva en miembros superiores, trabajar con los brazos flexionados, trabajar con el tronco flexionado hacia adelante, levantar o empujar cargas pesadas, ambientes calurosos, altos niveles de ruido, tiempos de ciclos muy cortos, baja identificación con el producto de trabajo, reducido estatus social y trabajos monótonos, como señalan Punnet y Wegman (2004), Rodríguez et al (2009), Chachutt et al (2009), entre otros.

Refiere Padilla y Sequera (2007), que la industria automotriz comienza en Venezuela en el año de 1944, en la población de Antímano en el Distrito Federal (actualmente Distrito Capital) donde se instaló la planta de General Motors Interamericana, filial de General Motors Corporation. Sin embargo, la producción comenzó en 1948 cuando la empresa coloca en el mercado su primer lote de producción de vehículos comerciales y camiones ensamblados en Venezuela y

durante el período de la política de sustitución de importaciones (1960-1989), se instalaron empresas ensambladoras entre las cuales destaca la Daimler Chrysler LLC, Ford Motor de Venezuela S.A., Fiat. Luego se incorporaron la Renault Venezuela, C.A., Mack de Venezuela, Toyota, Mitsubishi Motors Company Automotriz S.A. (MMC), ENCAVA C.A.

Específicamente el algoritmo se validó en una empresa del sector automotor venezolano ubicada en la Zona Industrial de Carabobo, en la cual el proceso de ensamble del vehículo se realiza a través de tres áreas de trabajo: carrocería, pintura y ensamblaje general donde se producen modelos particulares y comerciales.

Se seleccionó como área de estudio la sección de ensamble general, específicamente el proceso de producción de modelos comerciales, en el cual se encuentran 134 trabajadores a lo largo de 30 estaciones de trabajo entre las áreas de: Tapicería, Chassis, Flat top, Motores, Sub Ensamble de caja, Off Line, Reparaciones Pesadas y Reparaciones Livianas, dado que en esta área el 40% de los operarios que allí laboran tienen limitaciones médicas por presentar patologías articulares, particulares, y óseas. Los reportes de morbilidad del servicio médico de la empresa denotan que en los últimos 12 meses registran una mayor frecuencia de molestias o dolores músculo-esqueléticos.

De estas líneas se trabajó en la de tapicería, en la cual se registran 89 actividades o tareas.

3.5. Fases Metodológicas

Fase I: Identificación de los factores de riesgo a lesiones músculo-esqueléticas asociados a líneas de ensamble, para comprender cuáles son los Trastornos Músculo Esqueléticos presentes en estos puestos de trabajo y cuáles son los factores de riesgo.

Fase II: Identificación de los métodos de valoración biomecánica que muestren sensibilidad a los factores de riesgo presentes en centro de trabajo de líneas de ensamble. En esta fase se derivó la información necesaria a fin de establecer los métodos ergonómicos utilizados con mayor frecuencia en el sector de interés para el estudio, como también los que presentaron mayor sensibilidad a los factores de riesgo presentes en las líneas de ensamble de vehículos.

Tanto la fase I como la fase II se llevaron a cabo mediante la revisión de trabajos de investigación publicados tanto a nivel nacional como internacional. La búsqueda de información no solamente se basó en aquellos datos relativos a los aspectos antes mencionados (factores de riesgo y métodos de valoración biomecánica sensibles a los factores de riesgo en el sector automotriz), sino que también fue

necesario incluir en la búsqueda referentes conceptuales sobre la normativa en la Ergonomía, así como los aspectos de balance de línea, tipos de líneas de ensamble, métodos heurísticos.

Por ello se produjo una clasificación de la búsqueda de información, que se manejó a través de matrices de análisis de datos que según Baranger (2009) es una forma de hacer inminentemente visible la estructura tripartita de los datos (unidad de análisis, variable y valor). En las matrices elaboradas en esta investigación se tomó como variable: los trabajos de investigación relacionados al tema específico de la categoría y como valor: la cantidad de trabajos relacionados.

Las categorías en que se direccionó la búsqueda fueron:

- Leyes y normas relacionadas con la Ergonomía a nivel nacional e internacional.
- Balance de Líneas de Ensamble.
- Factores de Riesgo a Lesiones Músculo-Esqueléticas en el sector automotriz.
- Métodos de Valoración Biomecánica en el sector automotriz.

- Métodos Heurísticos relacionados con Balance de Líneas y/o Ergonomía.

Las matrices de análisis de datos se elaboraron para cada una de las categorías señaladas anteriormente, mediante las cuales se pudo desarrollar tanto la Fundamentación Teórica como el desarrollo de los dos primeros objetivos de esta investigación.

Fase III: Establecimiento de los parámetros de estudio referente a tiempos, actividades y variables ergonómicas. Esta etapa la investigación se centró en la determinación de las variables, tanto desde el punto de vista de tiempos y las relacionadas con las actividades, como las variables ergonómicas, que se tomaron en cuenta para el diseño del algoritmo en el método heurístico propuesto. En relación al proceso de observación directa, se pudo constatar en la línea seleccionada para desarrollar el trabajo dentro de la empresa, las actividades que componen la línea, así como los tiempos de cada una de ellas. Mientras que las variables ergonómicas, se trabajaron a través de las dos fases anteriormente señaladas, convalidándolas con la observación directa en la línea de tapicería, en este caso, se pudo comprobar que los factores de riesgo presente en la línea son los mismos que se identificaron a través de la revisión documental y que se exponen más adelante en el Capítulo IV de este trabajo.

Fase IV: Diseño de un algoritmo para la asignación de los elementos de trabajo según las variables que tienen impacto en las líneas de ensamble. El diseño del algoritmo para integrar en una sola herramienta el balance de líneas de ensamble con consideraciones ergonómicas fue el núcleo central de esta etapa de la investigación y se denominó Método para el Balance de Líneas de Ensamble con consideraciones Ergonómicas (Método BLEER). Para el desarrollo de este algoritmo, se utilizó la información recopilada en las etapas anteriores y en función de la observación y análisis de la línea de tapicería en la que se trabajó, además de la experiencia acumulada por la autora, a lo largo de otras investigaciones propias y como tutora de trabajos de grado dentro del área, se comenzó el diseño de esta nueva herramienta de balance de líneas con consideraciones ergonómicas. El trabajo de diseño se plasmó a través de un diagrama de flujo y se probó el algoritmo propuesto de forma manual, con una línea de ensamble que consta de 9 actividades, a fin de realizar los ajustes necesarios y obtener el algoritmo definitivo. Tanto el diagrama de flujo que se desarrolló para el algoritmo así como la ejecución manual del método propuesto se muestra en el anexo No. 2, en el cual se puede observar la secuencia de ejecución de los pasos para obtener una solución factible, a manera de ilustración del funcionamiento interno del algoritmo desarrollado en el método BLEER para el balance de líneas con consideraciones ergonómicas. Allí se puede apreciar lo extenso del procedimiento para obtener una solución de forma manual.

Fase V: Validación del funcionamiento del algoritmo desarrollado. En esta fase se desarrolló un programa automatizado basado en el algoritmo diseñado del método BLEER, a fin de ser aplicado con datos reales de la empresa en estudio, y verificar la validez del mismo. Para realizar el programa automatizado se ajustaron algunos aspectos en el diagrama de flujo expuesto en el anexo No. 2 a fin de mejorar el desempeño computacional del algoritmo. Tanto las características del programa automatizado, el diagrama de flujo modificado y la aplicación del método BLEER en la línea de tapicería se describen en el Capítulo IV.

En la figura No. 6 se esquematiza el proceso seguido para el desarrollo de la investigación.

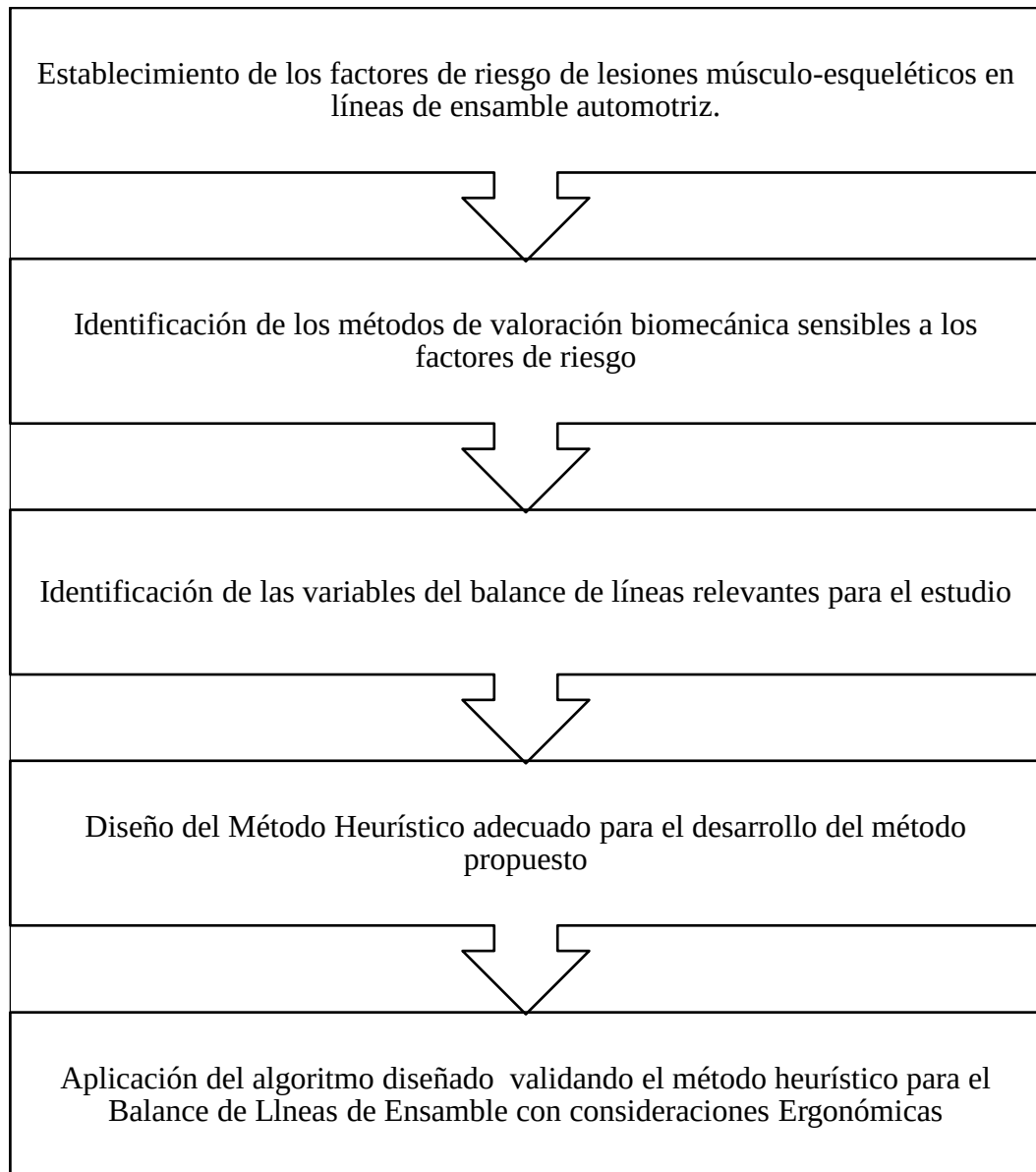


Fig. No. 6 Esquema de Diseño del Método BLEER

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DEL MÉTODO HEURÍSTICO PARA EL BALANCE DE LÍNEAS CON CONSIDERACIONES ERGONÓMICAS

4.1. Factores de riesgo a lesiones músculo esqueléticas asociados a las líneas de ensamble automotriz.

En esta etapa de la investigación se identificaron los factores de riesgos que pueden ocasionar lesiones músculo esqueléticas en líneas de ensamble a partir de revisión de la literatura a través de la cual se encontraron estudios que abordan el trabajo en líneas de ensamble automotriz entre ellos el de Colotto et al., (2008), quienes colaboraron en el desarrollo de un Programa de Ergonomía en una empresa ensambladora de vehículos de pasajeros y de carga. Estos autores evaluaron 330 estaciones de trabajo desde el punto de vista biomecánico y fisiológico, como resultado identificaron que los principales factores de riesgo a lesiones músculo-esqueléticas son el trabajo manual, la manipulación y levantamiento de cargas, inclusive mayores a 60 Kg, movimientos repetitivos, posturas no neutrales y pobre acomodamiento. Para ello aplicaron la observación directa y entrevista a los trabajadores, además del empleo de herramientas como la Ecuación NIOSH, el

método RULA y el REBA, y el método LEST para la valoración biomecánica y fisiológica.

En la investigación de Cachutt et al., (2009), se realizó una valoración biomecánica de las actividades que se llevan a cabo en el proceso de ensamble de una camioneta deportiva, aplicando dos métodos de evaluación los cuales fueron Suzanne Rodgers y el REBA, encontrando como factores de riesgo a lesiones músculo-esqueléticos la bipedestación prolongada, movimientos repetitivos, posturas no neutrales, uso de herramientas y equipos pesados. Además realizaron una comparación estadística entre ambos métodos demostrando que, con una significancia del 1%, el método REBA tiene mayor severidad en relación al nivel de exigencias requeridas para la ejecución de una actividad, en contraste con el método Rodgers, por lo que concluyen que para la evaluación biomecánica es recomendable usar el método REBA.

Así como también en un estudio realizado por Rodríguez et al., (2009), sobre la demanda biomecánica en el ensamble de un vehículo compacto, el cual se desarrolló en las áreas de monorriel y línea final de una empresa ensambladora, en las cuales se realizan operaciones de ajuste de componentes críticos de la unidad, tales como suspensión trasera, cauchos, tubo de escape, entre otros. Los autores determinaron que los factores de riesgo presentes en estas líneas son exigencia de esfuerzos musculares por posturas no neutrales.

Rodríguez et al., (2008a), basan su investigación en la evaluación del riesgo a lesiones músculo-esqueléticas en trabajadores del sector automotriz venezolano, considerando variables biomecánicas, fisiológicas y psicosociales, utilizando la Prueba Escalonada de Manero, el método REBA y el método MODSI, como resultado se obtuvo que los trabajadores se encuentran dentro de una zona de seguridad fisiológica, sin embargo como factores de riesgo biomecánico se determinó que el principal factor es la postura no neutral; otros elementos involucrados fueron los movimientos repetitivos y la manipulación y levantamiento de cargas.

Vázquez et al., (2009), realizan un estudio ergonómico en las estaciones en serie de una maquiladora, las cuales requieren de alta concentración, con un tiempo de ciclo corto, repetitividad y monotonía haciendo que se presente en etapas temprana, fatiga en el trabajador; además de manipulación de cargas, movimientos repetitivos y posturas no neutrales. Estos investigadores presentaron un nuevo método de evaluación biomecánica denominado “Sistema de evaluación ergonómica, para estaciones de trabajo con ensamble manual” ver figura No.7.

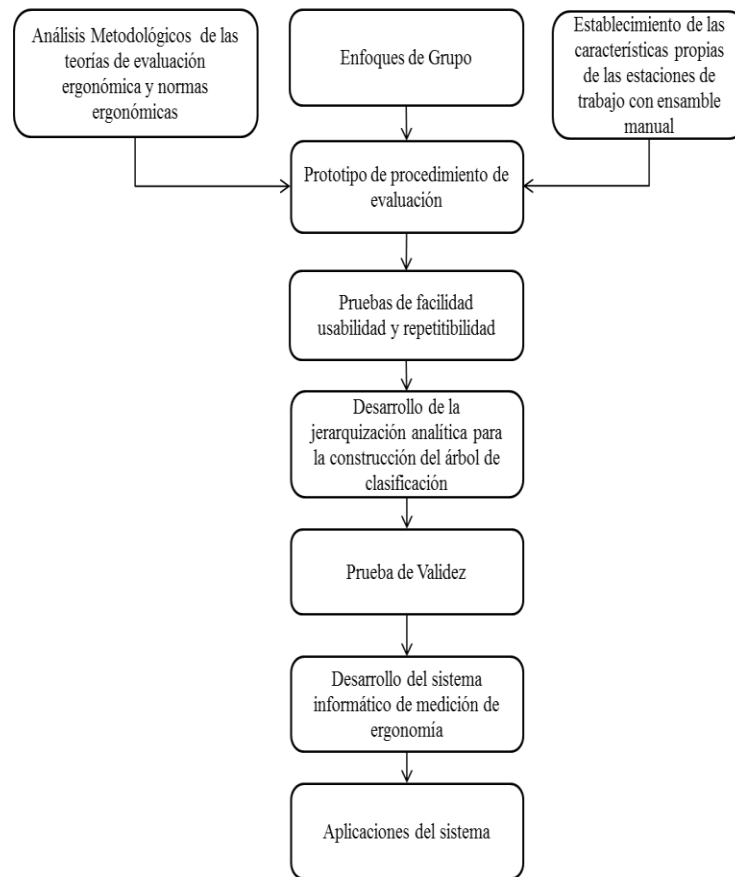


Figura No 7. Procedimiento esquemático del desarrollo del sistema de evaluación ergonómica.

Fuente: López et al., (2008)

Para validar los resultados obtenidos con el método propuesto los autores antes citados compararon los mismos con los arrojados a partir de la implementación de tres métodos de evaluación ergonómica: RULA, OWAS y LEST, concluyendo que el “Sistema de Evaluación Ergonómica, para estaciones de trabajo con Ensamble

Manual” permite una evaluación en tiempo real de las condiciones de trabajo del operador mexicano, además de proponer soluciones a problemas puntuales en las partes del cuerpo que intervienen en la tarea e incluye un pronóstico del porcentaje que disminuirá la producción en esta tarea con el paso del tiempo productivo, lo que posibilita a la empresa estructurar planes de acción que contemplen directrices de mejora en el diseño o rediseño de las estaciones de trabajo con ensamble manual. Los autores argumentan que al incorporar el análisis multi-variante en la evaluación ergonómica de estaciones de trabajo con ensamble manual, se puede establecer un proceso cuantitativo, relacionando eficientemente las posiciones de trabajo, con la disminución de la capacidad productiva del operario, en un esquema de jerarquización analítica multi-variante de tipo árbol, que permite una comprensión clara y estratégica de la clasificación.

Una discusión relativa a la evidencia epidemiológica y de los trastornos músculo esqueléticos realizada por Punnet y Wegman (2004), basada en el estudio de 2500 artículos, de los cuales seleccionaron 170, a fin de calcular el índice denominado Fracción Atribuible (AF) para cada exposición, siendo este índice una estimación de la proporción de la lesión o enfermedad que sería reducida en la población si el factor de riesgo fuera eliminado y representa la importancia relativa de la reducción de la exposición donde la misma es frecuente. Los autores concluyen que los niveles de los AF fueron altos para los factores de riesgo a lesiones músculo-esqueléticas como la manipulación y levantamiento de cargas por encima de los

límites permitidos, las posturas no neutrales, la aplicación de fuerza, los movimientos repetitivos y la vibración.

Además, Castillo et al, (2004), trabajaron en la evaluación ergonómica en el área de sub-ensamble de motores de lancha a través del método RULA con lo cual se pudo determinar como factores de riesgo a lesiones músculo-esqueléticas en esa actividad principalmente las posturas no neutrales.

Por otro lado Rozo (2009) evaluó las condiciones de salud y trabajo asociadas a dolor lumbar inespecífico en los operarios de una línea de ensamble, identificando que la carga física asociada está relacionada con bipedestación prolongada, movimientos repetitivos o mantenidos de flexión más rotación de tronco durante la jornada laboral, y manipulación manual de cargas pesadas con movimientos de flexión más rotación de tronco. En esta evaluación se utilizaron los métodos OWAS Y NIOSH.

De igual manera Rodríguez y Manero (2008) abordaron una evaluación integral del nivel de riesgo músculo esquelético en diferentes actividades laborales, específicamente para la ensambladora de vehículos en las áreas con mayor riesgo a sufrir de lesiones músculo esqueléticas, encontrándose que los principales factores de riesgo están asociados a máquinas de gran tamaño y peso que deben ser manipuladas

por los operarios bajo posturas forzadas durante largos períodos de tiempo. En la tabla No. 9 se comparan los resultados de los diferentes autores citados.

Tabla No. 9
Comparación de resultados de los autores citados en factores de riesgo ergonómico

Autores /Factores	Ensamble Manual	Bipedes-tación Prolon-gada	Levan-tamien-tos	Repetiti-vidad	Posturas No neutra-les	Fuer-za	Uso de Herra-mien-tas	Vibra-ciones
Colotto et al., (2008)	✓		✓	✓	✓			
Cachutt et al., (2009)	✓	✓		✓	✓		✓	
Rodríguez et al., (2009)					✓			
Rodríguez et al., (2008)			✓	✓	✓			✓
Vázquez et al., (2009)			✓		✓	✓		✓
Punnett & Wegman (2004)					✓			
Castillo et al., (2004)					✓			
Perozo et al., (2012)					✓	✓		
Rozo (2009)		✓	✓	✓	✓			
Rodríguez & Manero (2008)					✓	✓		
TOTAL	2	2	4	4	10	3	1	2

Como puede observarse en la tabla anterior, el factor de riesgo biomecánico presente en las investigaciones de todos los autores revisados es las posturas no neutrales, es decir, inclinación y/o lateralización del tronco, flexión, extensión o lateralización del cuello, abducción, flexión o extensión del brazo, también se aprecia que la manipulación y levantamiento de cargas, así como el factor de movimientos repetitivos son considerados por cuatro de las diez investigaciones citadas, y en menor consideración está la vibración y el ensamble manual como factores de riesgo a lesiones músculo esqueléticas. Por otro lado, y a pesar de que las investigaciones precedentes no muestran elevado interés en la exposición al riesgo asociado con la bipedestación prolongada, ésta se incorpora dentro del análisis del presente estudio ya que representa un factor importante en la carga física presente en las actividades a ejecutar dentro de las líneas de ensamble.

Al desarrollar el trabajo de campo en la empresa ensambladora que sirvió de laboratorio experimental para la investigación, se encontró total correspondencia entre la información aportada por los autores señalados en la revisión documental y lo observado en la línea, además se corroboró la necesidad de incluir el factor de la bipedestación prolongada ya que en las diez (10) estaciones de la línea de tapicería, en sus 89 actividades, esta situación se presenta en el 100% de los casos.

4.2. Identificación de los métodos de valoración de variables biomecánicas sensibles a los factores de riesgo en líneas de ensamble del sector automotriz.

De la revisión anterior se obtiene además los métodos de valoración biomecánica empleados por los investigadores citados, mostrados en la Tabla No. 10.

Tabla No.10
Métodos de valoración biomecánica empleados en las investigaciones citadas

Autores/ Métodos	NIOSH	MOD SI*	SEE PEDM **	LEST	RULA	REBA	Susanne Rodgers	Evalua- ción Multita- rea de Carga Física	OWAS
Colotto et al(2008)	✓			✓	✓	✓			
Cachutt et al (2009)						✓	✓	✓	
Rodríguez et al (2009)							✓	✓	
Rodríguez et al. (2008)		✓		✓	✓	✓			
Vázquez et al(2009)			✓	✓	✓				✓
Castillo et al (2004)					✓				
Rozo et al (2009)	✓								✓
Rodríguez et al (2008)		✓				✓			
TOTAL	2	2	1	3	4	4	2	2	2

*Modelo Simple para la evaluación del riesgo de aparición de lesiones músculo-esqueléticas.

**Sistema de evaluación ergonómica para estaciones de ensamble manual.

Como se aprecia en la tabla anterior, los métodos más usados en las evaluaciones ergonómicas en líneas de ensamble son RULA, REBA y LEST, ahora bien como ya se ha establecido anteriormente el REBA presenta fortalezas importantes cuando se trata de valorar el compromiso biomecánico, ya que es un método poco invasivo, evalúa un gran número de posturas (60 posturas para el cuello, tronco y piernas, y 36 para los miembros superiores, es decir, brazos, antebrazos y muñecas), es un método que evalúa tanto los miembros superiores como los inferiores y es de fácil aplicación y análisis. Al complementar su uso con el método de Evaluación Multitarea de Carga Física se estaría fortaleciendo la posibilidad de detectar la presencia de diferentes niveles de riesgo a la aparición de lesiones músculo-esqueléticas por efecto además de la exposición a estos riesgos durante el tiempo de ejecución de la actividad, razón por la cual esta investigación usa la combinación de estas dos herramientas complementarias en el desarrollo del método heurístico para el balance de líneas.

Cuando se integran las causas de los trastornos músculo-esqueléticos discutidos anteriormente con los conceptos de productividad y calidad en la labor de manufactura de las empresas se explica cómo los sistemas de trabajo están afectados no sólo por la gestión del tiempo sino también por factores que comprometen la salud del trabajador. En este sentido, Winkel et al., (1996) proponen un modelo que explica las interacciones entre la Organización del Trabajo y la Ergonomía. Ver figura No. 8.



Figura No. 8 Interacciones entre la Organización del Trabajo y la Ergonomía

Fuente: Winkel et al., (1996)

Winkel et al., (1996) señalan que el éxito de las intervenciones ergonómicas no puede lograrse sin la cooperación estrecha de los gerentes e ingenieros de producción pues son estos últimos los que en definitiva diseñan los estándares de producción, sin embargo, y en virtud de la experiencia obtenida a través de estudios ergonómicos realizados en empresas de diferentes ámbitos de producción, permite considerar de la vital importancia, el involucramiento de los operadores o trabajadores del área de estudio, ya que son ellos los expuestos a las deficiencias ergonómicas en los diseños de los puestos de trabajo y por ende sus opiniones y sugerencias son un nódulo fundamental en el tejido de la red multidisciplinaria de las intervenciones ergonómicas exitosas.

Según lo antes expuesto, se hace entonces necesario un enfoque multidimensional del problema de balance de líneas y cargas de trabajo para incluir en él consideraciones que se vean reflejados en mejoras en los indicadores de salud, seguridad, productividad y calidad.

Considerando las investigaciones anteriormente expuestas en este capítulo y en la fundamentación teórica se deduce que el Balance de Líneas de Ensamble ha sido un tema profundamente tratado a lo largo de su evolución, desde diferentes propósitos, ver figura No. 9.

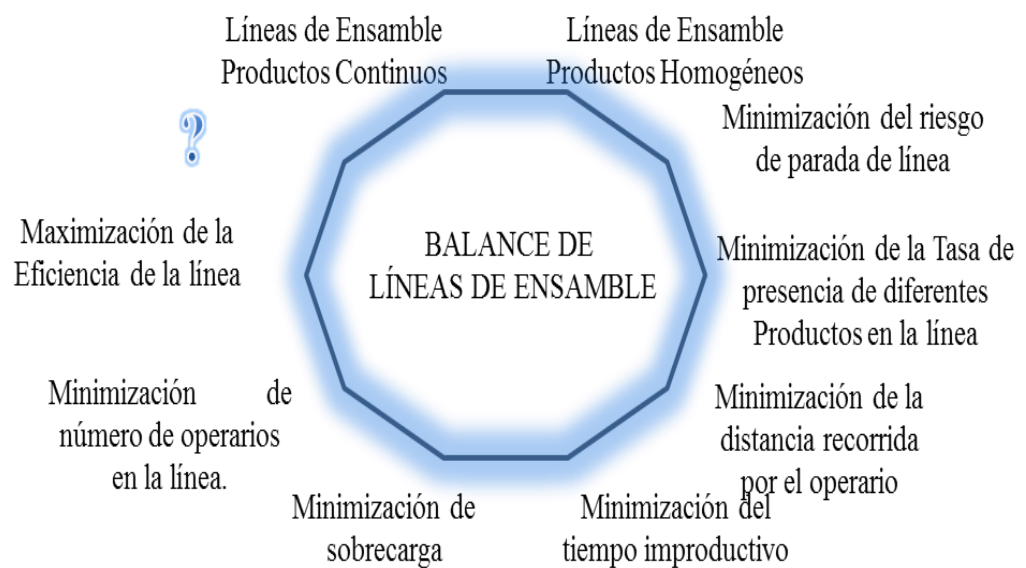


Fig. No. 9 Abordajes del problema de Balance de Líneas de Ensamble

El vértice con signo de interrogación muestra un vacío en los objetivos del Balance de Líneas, que aún no ha sido abordado suficientemente, y que es el tema que se desarrolla en este estudio, llamando a este nuevo objetivo: “Minimización de riesgo a sufrir de lesiones músculo-esqueléticas”, el cual debe considerar dentro de las evaluaciones del balance en líneas de ensamble, dada la importancia que reviste la salud de los trabajadores como parte esencial de la empresa.

4.3. Parámetros del Balance de Líneas con consideraciones Ergonómicas.

Con base en la discusión anterior y en consideración de los resultados obtenidos de la investigación documental realizada, se prosigue a esquematizar entonces los elementos involucrados en la investigación, ver figura No. 10.

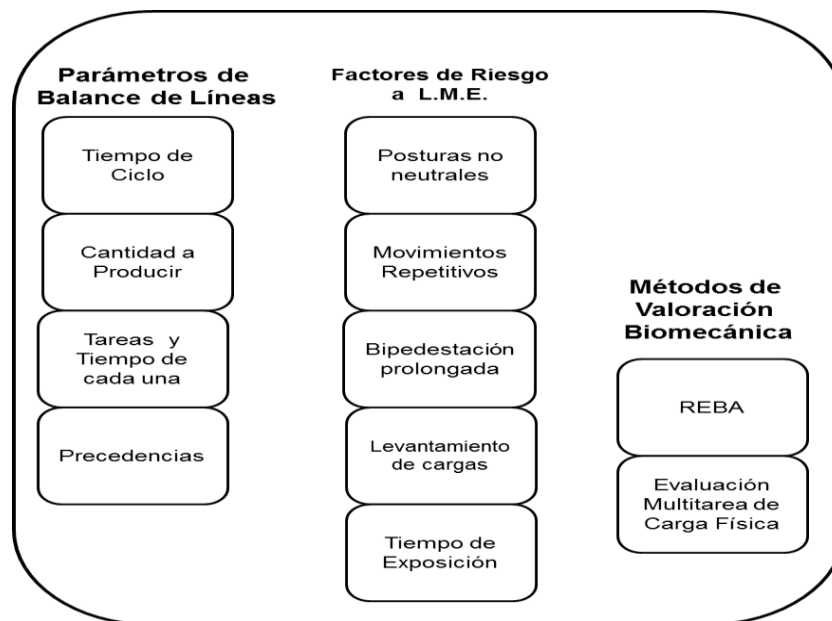


Fig. No. 10 Elementos abordados en el Balance de Líneas con consideraciones ergonómicas.

Como se aprecia en la figura anterior, se consideraron como factores de Riesgo a sufrir lesiones músculo-esqueléticos: las posturas no neutrales, los movimientos repetitivos, bipedestación prolongada, levantamiento de cargas y tiempo de exposición. Se utilizaron los métodos REBA y Evaluación Multitarea de Carga Física como métodos de valoración biomecánica y como valores de entrada el tiempo de ciclo, volumen de producción, lista de actividades y precedencias, tiempo de cada una de las actividades, valores de riesgo REBA para cada actividad y tiempo de exposición al riesgo en cada una de ellas.

4.4. Descripción del Método BLEER.

El método diseñado en esta investigación para dar respuesta al objetivo general planteado se denominó Método para el Balance de Líneas de Ensamble con consideraciones Ergonómicas o Método BLEER, para el desarrollo del mismo, se generó la heurística que se presenta a continuación en la figura No. 11, esta heurística consta de tres etapas consecutivas.

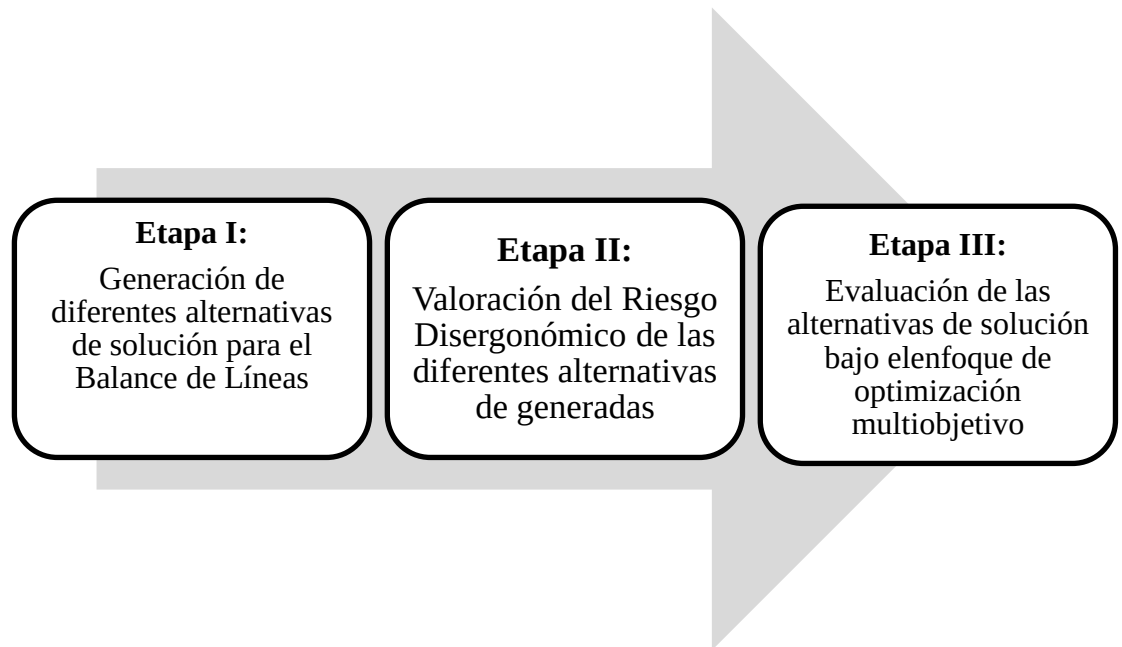


Figura No. 11

Etapas de desarrollo del Algoritmo del Método BLEER

En la Etapa I, el algoritmo genera alternativas de balance de líneas basadas en tiempos de las tareas asociadas, sus precedencias y necesidades para satisfacción de la demanda del sistema, a través de la realización de los siguientes pasos:

- 1) En primera instancia se debe suministrar los datos siguientes:
 - Cantidad de actividades que componen el proceso de ensamble (m).
 - Tiempo disponible para la producción (TP).
 - Cantidad de unidades a ensamblar o producir (P).
 - Cantidad máxima de soluciones a generar por el algoritmo (MAXS).
 - Tiempo de cada una de las actividades (T_i).

- Relación de precedencias entre las actividades.

Para la distribución de las actividades a estaciones de trabajo, el algoritmo asigna las tareas a cada estación tomando en consideración el tiempo de ciclo teórico (C), el tiempo de cada elemento y la precedencia de las actividades, de tal manera que genera un grupo de soluciones factibles que satisfacen de forma adecuada el balance de líneas de ensamble, por lo tanto lo primero que debe realizarse es la determinación del tiempo de ciclo teórico (C), que se define como el tiempo que permanece cada pieza o producto en proceso en cada estación de trabajo y se calcula como se muestra en la expresión (1)

$$C = TP / P \quad (1)$$

Donde:

TP =Tiempo de producción disponible por turno.

P = Tasa de producción por turno

Luego se calcula el número mínimo de estaciones, lo cual se refiere a la duración total de las tareas dividida por el tiempo de ciclo como se expresa mediante la expresión matemática (2)

$$k = T_t / C \quad (2)$$

Donde:

k = número mínimo de estaciones

T_t = duración total de las tareas o actividades

C = tiempo de ciclo teórico.

Para realizar el balance de la línea de ensamble, el algoritmo comienza a asignar las tareas por estación, según el orden de precedencia y el tiempo de cada una, es decir, se inicia por la estación I, evaluando la posibilidad de asignación de acuerdo a las precedencias y sumando el tiempo del elemento asignado, se adjudican tareas a esta estación hasta que la sumatoria de los tiempos en la misma no exceda el tiempo de ciclo teórico (C). Cuando lo anterior ocurre, se apertura otra estación y se comienza a asignar tareas verificando el orden de precedencia como se explicó anteriormente, de esa manera se continúa el procedimiento hasta que se complete el número de estaciones calculado o predefinido. Este procedimiento se repite de forma iterativa hasta tanto se hayan alcanzado el número de soluciones que solicite el analista denominado en el algoritmo como MAXS.

Ahora bien, el Método BLEER no sólo considera el aspecto de producción enfocado en el tiempo sino también valora el riesgo biomecánico de la asignación de tareas de un balance determinado, por ello, en la **Etapas II** el algoritmo valora el nivel de riesgo a sufrir lesiones músculo esqueléticas a los que estarían expuestos los operarios de la línea de ensamble debido a la distribución de las actividades en las estaciones de trabajo en cada una de las alternativas de solución generadas por el algoritmo en el paso anterior.

El método de valoración de Riesgo Biomecánico que utiliza el algoritmo es el REBA (Hignett & McAtamney, 2000), por lo tanto, para ejecutar el algoritmo se debe contar con los valores de riesgo por cada articulación comprometida en cada una de las tareas según este método.

Posterior a que se tenga dicha información disponible, el algoritmo construye las tablas según las diferentes soluciones de balance de líneas que se obtienen a través de la aplicación del método BLEER en su primera etapa, es decir, por estaciones de trabajo, actividades asignadas a cada estación y a su vez el valor de riesgo biomecánico asociado a cada una de las actividades. Con estos datos, el algoritmo calcula los valores medios ponderados, según la aplicación del método de Evaluación Multitarea de Carga Física (Idote & Pollán, 2003), con lo cual se obtiene el nuevo valor de REBA corregido de cada solución generada por el algoritmo. Luego de esto,

se debe calcular el promedio REBA sumando cada uno de los nuevos valores REBA por estación y dividiendo dicha suma entre el número de estaciones.

En la Etapa III, se realiza la evaluación de las soluciones bajo la optimización multi-objetivo, para ello, se define la función objetivo la cual genera un índice adimensional que se acordó llamar **ÍNDICE BLEER** (índice del Balance de Líneas de Ensamble Ergonómico) según la expresión (3).

$$\text{ÍNDICE BLEER} = \frac{\lambda * \text{TCR} + \beta * \text{TO}}{C} + \frac{\gamma * \text{RB}}{15} \quad (3)$$

Siendo TCR el tiempo de ciclo real y se refiere al máximo valor de tiempo asignado por estación, en cada solución, expresado en (unidades de tiempo/unidad de producto); TO el tiempo de ocio y se calcula como la sumatoria de la diferencia entre el tiempo máximo asignado en la solución (TCR) menos el tiempo asignado en la estación (i), para cada una de las estaciones asignadas en la solución, cuyas unidades también son (unidades de tiempo/unidad de producto) y RB el Riesgo biomecánico calculado como el promedio del valor REBA presente en las estaciones de trabajo de cada solución, siendo un número adimensional. En la expresión matemática anterior C se refiere al tiempo de ciclo teórico (unidades de tiempo/unidad de producto) y 15 es el máximo valor de nivel de riesgo biomecánico en la escala REBA.

Los valores dados como coeficientes en la función objetivo son parámetros y se definen según las consideraciones del analista. En esta propuesta se toman en consideración tanto el Tiempo de ciclo real (TCR) y el Tiempo de Ocio (TO) como variables que evalúan el desempeño del balance desde el punto de vista de productividad ya que el TCR proporciona una medida de la capacidad de producción que se logra con la distribución de actividades asignadas en las soluciones factibles generadas, lo cual es un indicador pertinente y válido para la planeación de la producción a fin de satisfacer la demanda del mercado, razón por la cual se sugiere en esta investigación con un parámetro de 35%, sin embargo, el valor del Tiempo de Ocio (TO) se incluye en la función objetivo como elemento de validación del balance de manera que penalice aquellos arreglos en los cuales el tiempo de ocio sea alto, ya que esto perjudica la eficiencia de la línea, proponiendo un valor de 15% para este parámetro y un valor del 50% para el riesgo biomecánico (RB) considerando un equilibrio en el balance tanto de tiempos como de carga de trabajo de las actividades. Estos valores persiguen encontrar un balance entre las variables de tiempo, y de riesgo biomecánico, por ello ambos aspectos están valorados en un 50% dentro de la función.

En el diseño del índice BLEER se utilizó una técnica tradicional de la investigación de operaciones como lo es la Optimización Multiobjetivos, ya que se busca minimizar la sobrecarga de trabajo, minimizar el tiempo de ocio y a su vez, minimizar el riesgo biomecánico en los puestos de trabajo debido a la asignación de

las actividades a las estaciones de trabajo, resultando en una sola función objetivo por medio de la técnica de ponderaciones para proporcionar a cada objetivo de la función un peso específico a través de los parámetros definidos como lambda (λ), Beta (β), y gamma (γ), en función de las políticas estratégicas de la organización o los valores que se consideren necesarios según los requerimientos del problema.

Con la optimización multiobjetivo, las soluciones que se generan a partir del algoritmo del método BLEER forman la frontera Pareto Óptimo, lo cual representa todas las soluciones factibles del problema en las que ningún objetivo puede ser mejorado sin ir en detrimento de otro.

En la figura No. 12 se puede apreciar el algoritmo diseñado en esta investigación para la heurística propuesta en la figura No. 11 y explicada anteriormente.

A continuación se muestra la nomenclatura utilizada en el diagrama de flujo para su mejor comprensión:

Para su mejor entendimiento se muestra a continuación la nomenclatura utilizada en el diagrama de flujo:

P = producción por jornada.

TP = tiempo disponible por jornada.

m= número de actividades.

MAXS= número máximo de soluciones.

Tabla de actividades = listado de actividades que conforman el proceso de ensamble.

C = tiempo de ciclo teórico.

Tt = Tiempo total = sumatoria de todos los tiempos de las actividades.

k= número de estaciones, que se calcula como Tt/C .

NS= número de soluciones.

AA = contador de actividades asignadas

TCR=Tiempo de ciclo real.

TO = Tiempo de ocio total del balance.

Vasig = vector que almacena las actividades que se asignan a las estaciones.

ANA = contador de actividades no asignadas.

Tacum(j) = tiempo acumulado en la estación j

Vana = vector que almacena las actividades que no han sido asignadas.

r_i = número que identifica la actividad , desde $1 \leq r_i \leq m$

Tri = Tiempo de la actividad r_i

TO = tiempo de ocio.

S = Solución.

NE = contador de número de estaciones.

DEs(i) = desviación estándar de la solución i

FO = función objetivo de la solución i.

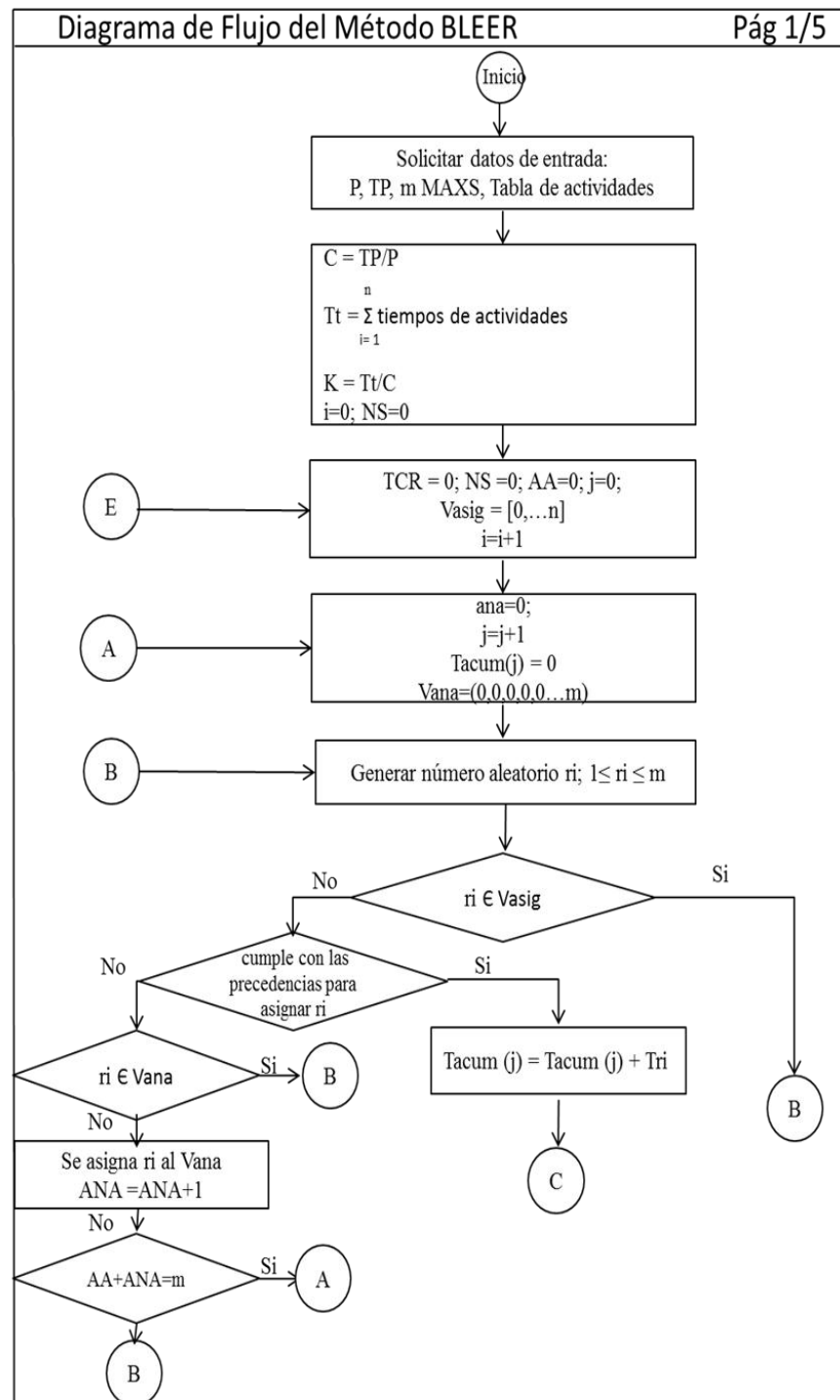
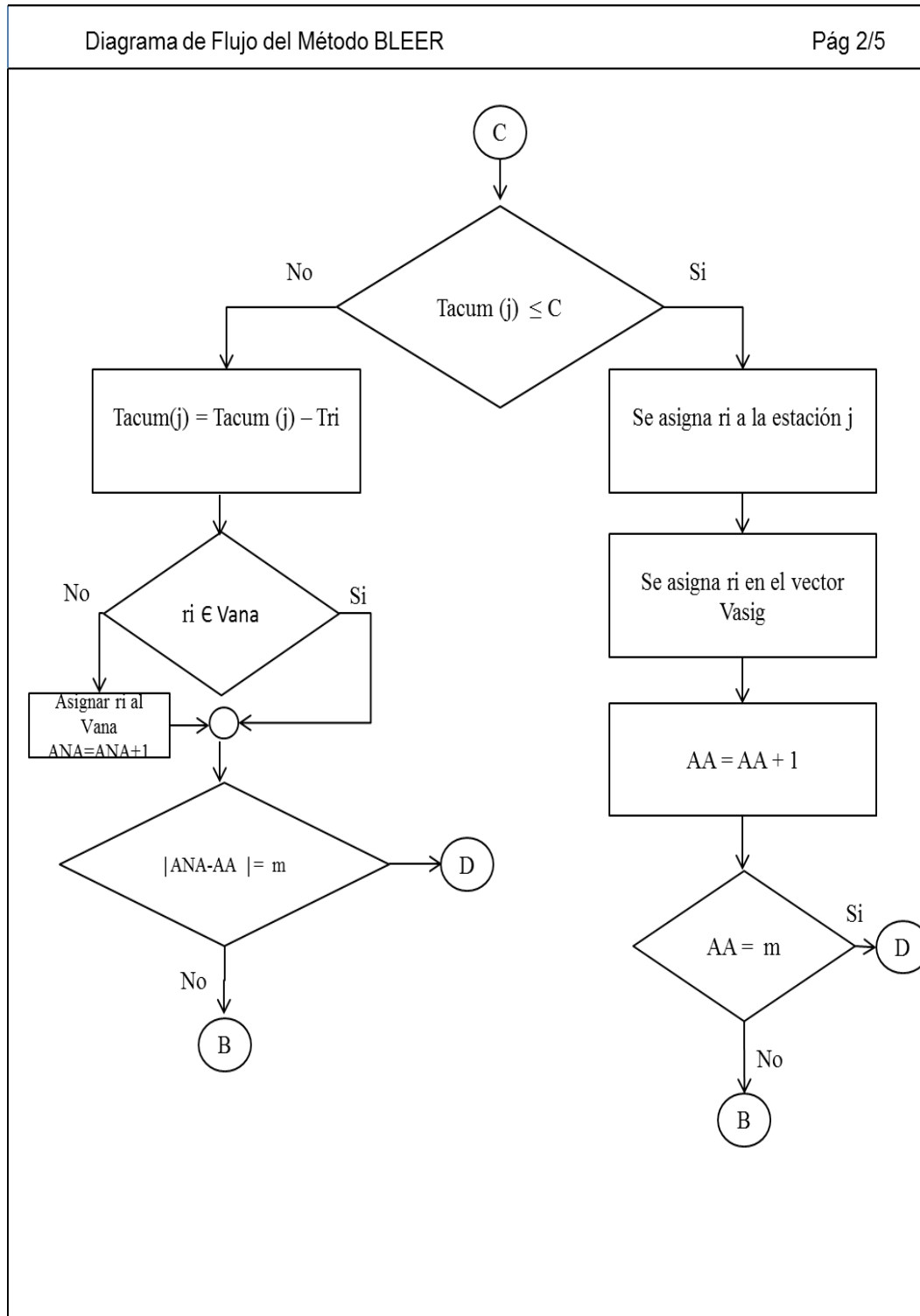
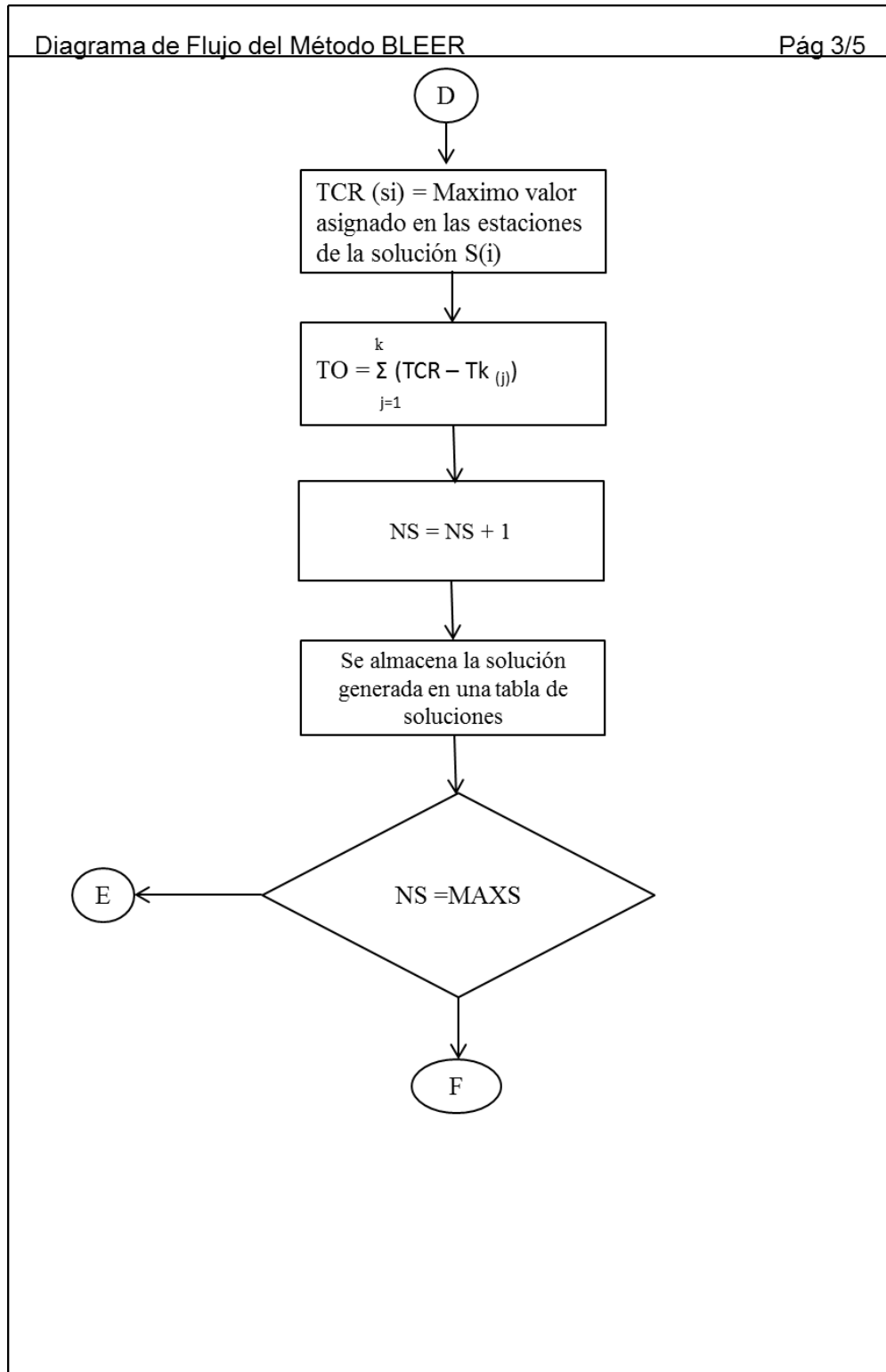
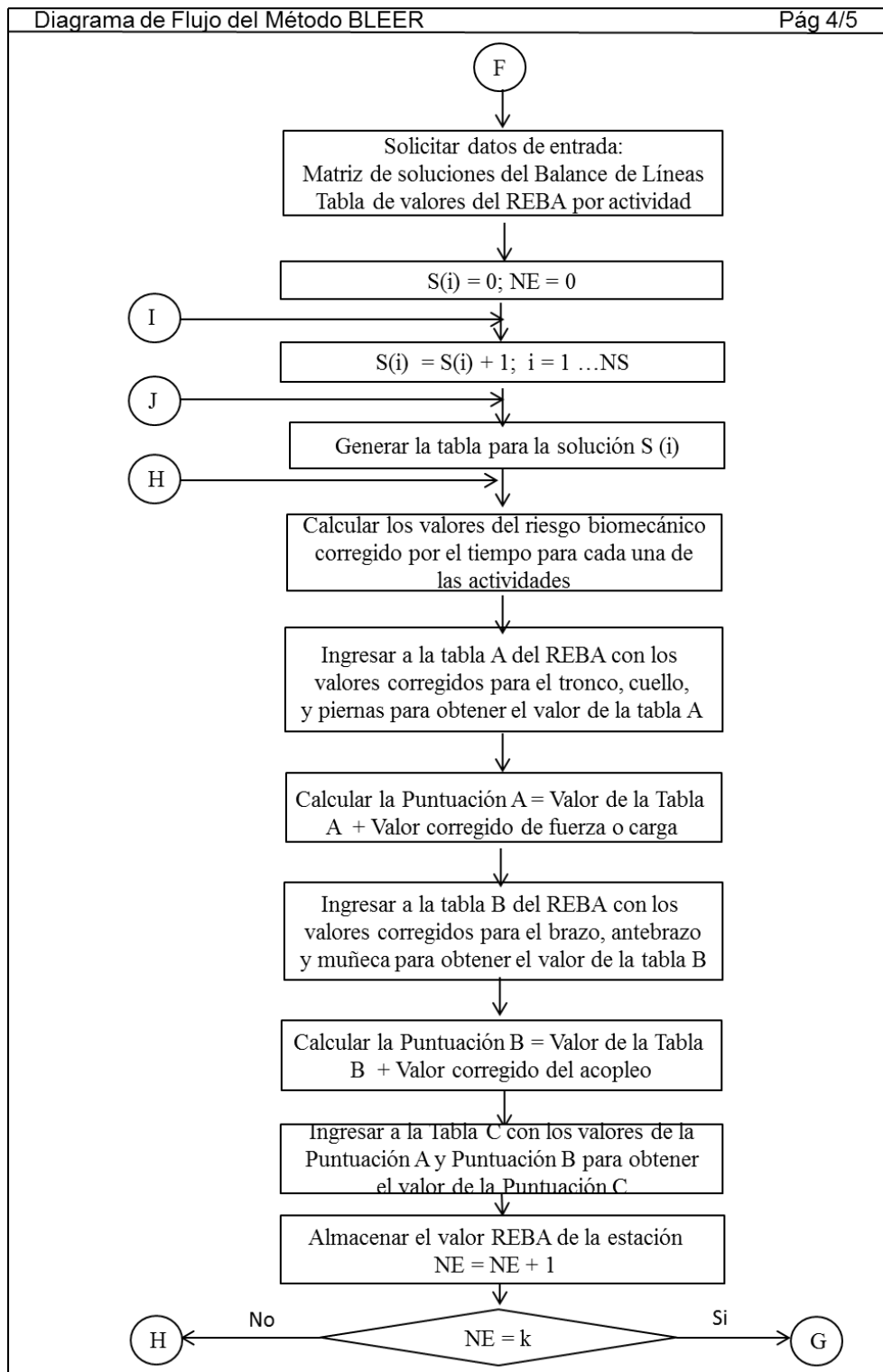


Diagrama de Flujo del Método BLEER

Pág 2/5







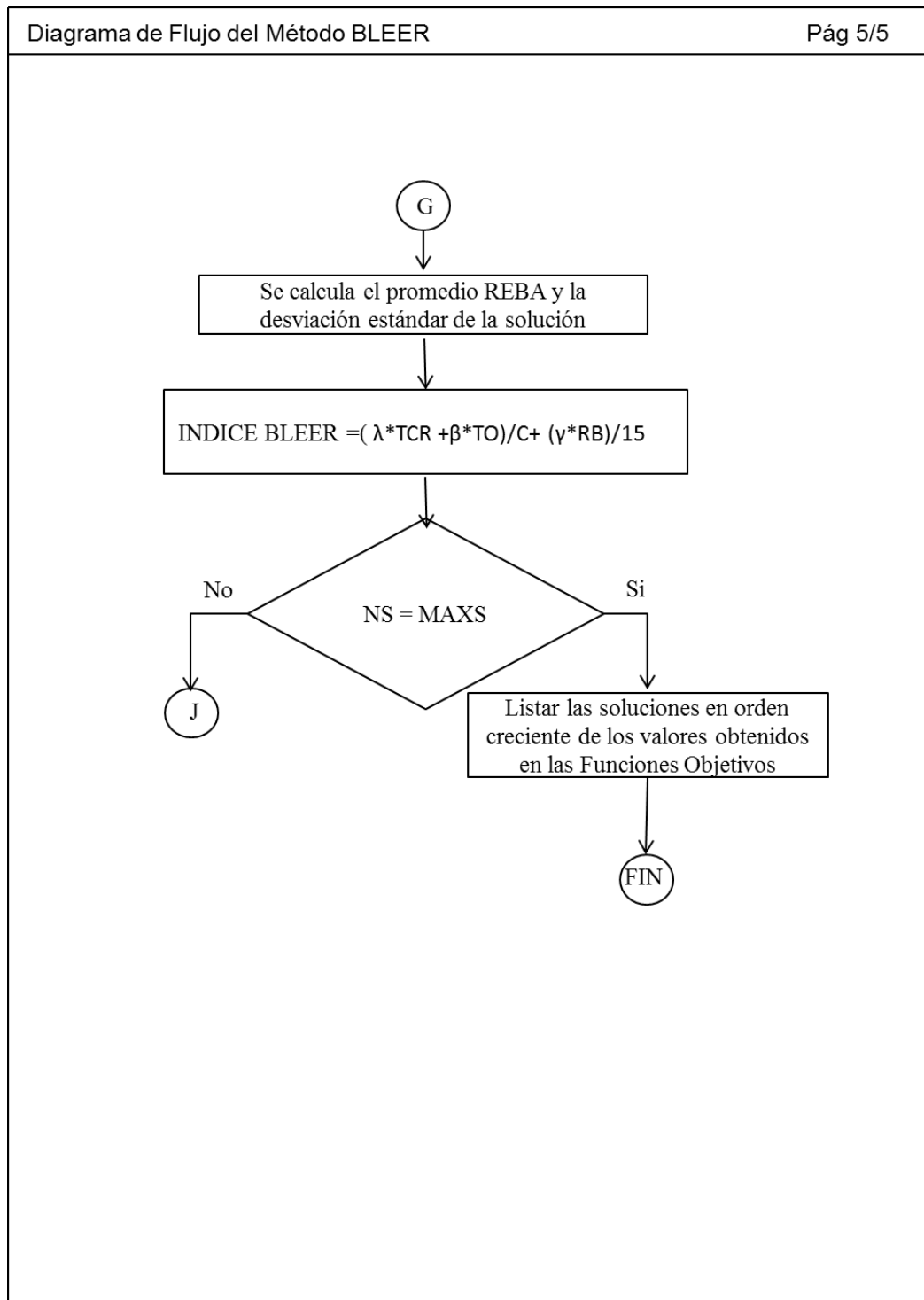


Fig. No. 12. Diagrama de Flujo para el desarrollo del Método BLEER

El algoritmo del Método BLEER fue sometido a prueba mediante un ejemplo teórico de una línea de ensamble compuesta por nueve actividades, esta aplicación se realizó de forma manual lo cual consumió alrededor de 3 horas de esfuerzo para obtener dos soluciones factibles. Es por ello que, para poder aplicar el método a una línea de ensamble con mayor complejidad debido al número de actividades, fue necesario realizar un programa automatizado. La aplicación del algoritmo en el ejemplo teórico se puede observar en el anexo No. 1.

En la sección que prosigue se describe tanto la línea de tapicería en la cual se trabajó para la validación del método BLEER en un caso real, así como las características del programa automatizado del método BLEER.

4.5 Validación del Método BLEER

La validación del método BLEER se realizó aplicando el algoritmo en una empresa ensambladora de vehículos ubicada en la Zona Industrial del Estado Carabobo.

La empresa realiza el proceso de ensamble de vehículos a través de tres áreas: Carrocería, Pintura y Ensamble General. Para la aplicación del algoritmo se seleccionó el proceso de ensamble de camiones, por ser esta área de gran interés para

la empresa. Allí laboran 134 trabajadores en 30 estaciones de trabajo distribuidas en: tapicería, “chassis”, “flat top”, sub ensamble de motores, sub ensamble de caja, “off line” y reparaciones pesadas y livianas.

4.5.1. Descripción de la línea de tapicería de la empresa ensambladora.

El área de tapicería, donde se aplicó el programa del método BLEER, fue diseñada para 10 estaciones de trabajo para un nivel de producción de 80 a 90 unidades por, con 89 actividades y en ella laboran 26 operarios. A continuación se realiza la descripción del área de Tapicería.

Estación de Tapicería:

Estación 01. Lado derecho e izquierdo.

Operación: Equipamiento de Cabina.

Materiales:

Resorte de capot.

Parlante

Corredera de hombro

Anclaje golpeador puerta

Golpeador de puerta

Tornillo golpeador

Goma inferior de puerta

Arnés de carrocería

Goma de marco de puerta

Guaya de capot

Separador del golpeador

Tope puerta

Tapón orificio drenaje

Tuerca tapa orificio pilar

Tuerca de arnés de carrocería

Tuerca parlante

Tornillo parlante

Tapones estribo

Aislante de piso

Equipos y Herramientas:

Pistola

Angular

Dado 7mm (pistola)

Dado 10 mm (pistola)

Dado 10 mm (angular)

Punta estrella #45

Porta Punta.

Descripción: En esta estación los operadores deben buscar las herramientas y colocar el dispositivo sujetador de capot, cambiar resorte del mismo, posicionar aislante del piso del vehículo, ajustar arnés de carrocería, buscar goma y colocar goma (ver figura No. 13) y guaya del capot, instalar el orificio exterior del estribo por cada lado, tope de puerta, tapón de orificio de drenaje y goma auxiliar inferior de puerta trasera, buscar y colocar tuerca de golpeador, golpeador y goma, tomar e instalar base asa de techo interno.



Fig. No. 13 Colocación de goma inferior de la puerta

Estación 02. Lado derecho e izquierdo.

Operación: Vestidura de Cabina.

Materiales:

Tope de capot.

Tope central de capot.

Tope lateral

Tope de ajuste de capot

Aislante de radiador

Tornillo de acople de chasis

Arandela de acople de chasis

Soporte faro izquierdo

Soporte faro derecho

Tornillos soporte de faros

Soporte de base de faros

Tornillo de base de faros

Soporte central

Tornillo de soporte central

Cerradura capot

Alfombra

Tornillos cerradura de capot

Faro izquierdo

Faro derecho

Tornillo faro

Arnés de lámpara delantera

Corneta vial izquierda

Corneta vial derecha

Tornillo de corneta vial

Tapa conector arnés lado derecho

Sujetador de guaya

Tornillo de cinturón derecho

Equipos y Herramientas:

Pistola eléctrica.

Dado 10 mm pistola

Extensión pistola

Descripción: Buscar, colocar y ajustar ramal de faros, buscar e instalar topes central y lateral, tope de ajuste capot, aislante de radiador, tornillo y arandela de acople de chasis; buscar soporte de faro izquierdo y derecho, soporte de base de faro, soporte central y cerradura de capot. Buscar herramientas y buscar e instalar aislante de calor, instalar alfombra (ver fig. No.14), motor limpia parabrisas, base de fusilera y reservorio de agua, buscar e instalar cable de tierra, corneta vial, cable de batería.



Fig. No. 14 Instalación de alfombra

Estación 03: Lado derecho e izquierdo.

Operación: Sub-ensamble de evaporador e instalación de acolchado de techo.

Materiales:

Techo

Tornillos “Key Pad”

Cónsola de techo

Guía de saco

Cable techo

Módulo de techo bolsa de aire

Techo (regular)

Bolsa de aire

Aislante

Manilla de techo trasero

Moldura pilar

Tuerca del módulo central

Clip techo

Clip moldura pilar

Equipos y Herramientas:

Atornillador eléctrico

Punta Estría

Dado 5/16"

Espiga larga

Porta punta

Base de techo

Descripción: Buscar herramientas, buscar e instalar arnés de techo, ajustar bolsa de aire, ajustar base de asa de techo interno, acoplar techo con dos sujetadores, buscar e instalar asa de techo, buscar y colocar moldura trasera de cinturón, ajustar cinturón (Ver fig. No. 15), buscar y ajustar moldura central trasera, sub-ensamblar evaporador, buscar y posicionar evaporador con dispositivo, instalación de evaporador, tubería de aire, manguera de drenaje y módulo de derrape, ajustar cable de tierra del evaporador.



Fig. No. 15. Ajustar cinturón de seguridad

Estación 04. Lado Izquierdo.

Operación: Instalación de pedales.

Materiales:

Bomba de freno

Freno de emergencia

Módulo piso

Base fusilera

Arnés pedal

Válvula de freno

Alfombra

Tuerca bomba de freno

Tuerca sensor bolsa de aire

Tornillo palanca

Tuerca freno emergencia

Tornillo soporte pedal

Tornillo palanca

Palanca

Refuerzo superior

Refuerzo inferior

Empacadura bomba freno

Pedal freno

Retén varilla (pedal freno)

Alfombra

Bomba freno potencia

Empacadura bomba freno

Pedal freno y acelerador

Módulo control freno parada

Interruptor lámpara trasera

Palanca control caja transferencia 4x4

Equipos y Herramientas:

Dispositivo de bomba de freno

Atornillador

Torquímetro

Extensión larga

Dado 13 mm (Angular)

Dado 10 mm (Angular)

Dado 15 mm (Angular)

Angular

Dado 7 mm

Dado 10 mm

Espigas

Descripción: buscar e instalar bomba de freno de potencia y dispositivo sujetador, buscar e instalar pedal de freno (ver fig. No. 16) y el freno de emergencia, ajustar los pedales, ajustar manilla de apertura de capot, chequear conjunto pedal de freno.



Fig. No. 16. Ajustar pedal del freno

Estación 05. Lado derecho e izquierdo.

Operación: Ajuste de Tablero.

Materiales:

Tapa rodillera

Ducto salida de aire

Tapa fusilera

Moldura pilar

Moldura base tablero 1

Tornillo ajuste panel de instrumento

Tornillo manilla freno

Retén guaya selectora

Tornillo rodillera

Tornillo soporte central

Moldura base tablero 2

Equipos y Herramientas:

Angular

Dado 7 mm (Pistola)

Punta Estría

Dado 10 mm (Pistola)

Dado 13 mm

Espigas

Porta punta

Descripción: posicionar el tablero dentro de la unidad (este tablero se subensambla en una línea paralela), acoplar el tablero al panel frontal, conectar cable de evaporador, cable de antena, cable superior de tablero, y colocar y ajustar cable de tierra, presentar y ajustar tornillo en la parte superior de tablero, colocar sensor en tapa superior de tablero y acoplar al tablero, buscar y colocar moldura pilar central, manilla y ajustar, colocar guantera y ajustar, colocar y ajustar tornillos de guantera superior de tablero, colocar cilindro de guantera (ver fig. No. 17), tomar e instalar gato.



Fig. No. 17. Colocar cilindro de guantera

Estación 06. Lado derecho e izquierdo.

Operación: Vestidura de puerta delantera y trasera. Instalación de asientos.

Materiales:

Tornillo de cerradura

Tornillo de manilla

Protector de cerradura

Tuerca del retrovisor

Relleno de espejo retrovisor

Varilla del cilindro

Varilla de la manilla

Varilla del seguro

Cerradura

Manilla

Goma del vidrio de la puerta

Regulador de vidrio

Cinta exterior

Espejo retrovisor izquierdo

Panel tapizado

Cerradura

Retrovisor

Cerradura

Reten trasero

Soporte manilla interna

Manilla externa

Cerradura de puerta

Cinta interior

Equipos y Herramientas:

Atornillador inalámbrico

Dado 10 mm X 1/4

Dado 7 mm X 1/4

Punta estría D1222

Punta torx T-30

Espiga Apex: Ex-490-4

Espiga Apex: Ex-250-4

Descripción: Tomar caja de tornillería y herramientas, sub-ensamblar e instalar manilla externa de puerta, sub ensamblar e instalar cerradura, tomar e instalar clips, reten trasero (ver Fig. No. 18) y parlante, buscar y colocar herraje, goma marco de vidrio y cinta exterior, buscar e instalar retrovisor de puerta, aislante y moldura bóveda, instalar varillas de manilla con la cerradura, tomar e instalar panel de tapizado de puerta, tomar e instalar control de mando, tomar e instalar manilla de halar puerta delantera, posicionar y ajustar asiento trasero y receptáculo, instalar con la ayuda de un dispositivo instalar el asiento trasero de la unidad.



Fig. No. 18 Colocación del retén trasero

Estación 07.Lado derecho e izquierdo.

Operación. Vestidura de puerta.

Materiales:

Tuerca soporte manilla interior

Tornillo tapizado inferior panel

Tornillo soporte manilla inferior

Tornillo panel tapizado de puerta

Placa regulador vidrio de puerta

Tuerca regulador vidrio de puerta

Tuerca panel tapizado

Tuerca plástica

Cubierta marco manilla interior.

Perilla varilla cerradura de puertas.

Cubierta marco manilla interior

Perilla varilla cerradura de puertas

Tornillo manilla puerta delantera

Cubierta descansa brazos

Cubierta descansa brazos

Manilla puerta

Cubierta manilla puerta

Manilla regulador vidrio de puerta

Retén trasero goma de vidrio

Cinta interior vidrio de puerta

Panel tapizado de puerta superior

Soporte manilla interior de puerta

Equipos y Herramientas:

Dado 10mm x 1/4 largo

Dado 7mm x 1/4 corto

Espiga: Apex Ex - 490 – 4

Atornillador Neumático

Descripción: Buscar y ajustar acumulador de aire con dos tuercas, tomar caja de tornillería, tomar e instalar sujetadores, retén trasero y parlante, buscar y colocar herraje, goma del marco de vidrio y cinta exterior, sub ensamblar e instalar manilla externa de la puerta, sub-ensamblar e instalar cerradura de puerta, instalar varilla de manilla con la cerradura, realizar chequeo sucesivo varillas de puerta, colocar aislante de cerradura, colocar soporte manilla, ajustar herraje, colocar tapones en orificio (ver fig. No. 19) y goma del aro de la varilla, tomar e inspeccionar vidrio de puerta, posicionar, ajustar y subir vidrio de puerta, colocar cinta interior de puerta, tomar e instalar cartón de puerta, colocar perilla de seguro, cubierta marco manilla, cubierta abertura y triángulo de puerta, tomar e instalar control de mando/ marco interruptor cerradura.



Fig. No. 19 Colocación de tapones en los orificios

Estación 08. Lado derecho e izquierdo

Operación: Instalación de deflector de radiador, soporte bandeja batería, tapa sol, moldura, tercer “stop”, receptáculos, gato mecánico y vestidura de radiador.

Materiales:

Deflector soporte radiador

Deflector lateral

Soporte módulo control

Tornillo soporte módulo control

Tornillo soporte módulo control

Tuerca del retractor del cinturón de seguridad

Tornillo soporte del cinturón de seguridad

Retén panel tapizado lateral trasero

Tapa tornillo soporte tapa sol izquierdo

Tornillo palanca selectora

Tapa sol izquierdo y derecho

Tapa guía correa hombro asiento pasajero

Tapa trasera guía correa hombro asiento pasajero

Tapa delantera guía correa hombro asiento pasajero

Perilla palanca control de caja

Retractor central correa asiento delantero

Correa asiento conductor lado del retractor

Marco palanca control caja transferencia

Tapa orificio fusilera panel instrumento

Tapa orificio fusilera panel instrumento

Tapizado trasero lateral

Moldura inferior vidrio trasero

Equipos y Herramientas:

Angular

Atornillador

Porta Punta: Apex 835, Punta Porx T-15

Descripción: Posicionar y colocar deflector, soporte y bandeja de batería, tornillos, colocar deflector (ver figura. No. 20). Colocar sujetadores, colocar arnés de sensor de

temperatura. Tomar enfriador auxiliar, sensor de temperatura y tornillos de enfriador auxiliar, colocar sensor de temperatura colocar enfriador de fluido con tornillos, tomar caja de tornillería, tomar y colocar alfombra trasera, gato mecánico y moldura trasera. Tomar y colocar tapa sol, tapa guía, receptáculo, tercer stop, kit de herramienta y tapa fusilera, instalar receptáculo y moldura trasera. Instalar lámpara trasera.



Figura No. 20 Deflector soporte del radiador

Estación 09. Lado derecho e izquierdo.

Operación: Instalación de parabrisas, Moldura del vidrio lado derecho e izquierdo, sub-ensamble de radiador, soporte de bandeja de batería, ajuste de condensador.

Materiales:

Tornillo moldura parabrisas

Goma de techo

Placa tapizado

Moldura parabrisas

Vidrio trasero

Vidrio delantero

Uretano

Equipos y Herramientas:

Ventosas

Atornillador

Punta torx T15

Descripción: Colocar parabrisas, en mesa para la aplicación de uretano (ver figura No. 21), traslada parabrisas delantero hacia el dispositivo para la instalación, instalar parabrisas delantero con el dispositivo, colocar vidrio trasero en mesa y aplicar uretano. Traslada vidrio trasero a la unidad (dos operarios) e instalar, tomar e instalar la moldura de vidrio delantero del lado derecho y herramienta, tomar e instalar goma de techo. Tomar herramienta y ajustar condensador, enfriador auxiliar, enfriador de fluido, soporte módulo control.

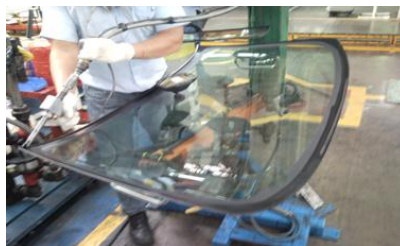


Figura No. 21. Colocación del Uretano al Parabrisas

Estación 10. Lado derecho e izquierdo.

Operación: Instalación de asiento y molduras.

Materiales:

Tornillos de fijación de asientos

Tornillos de protector lateral

Placa tapizado

Cubierta delantera inferior asiento

Cubierta corredera asiento

Tapa tornillo cubierta

Asiento

Equipos y Herramientas:

Angular

Dado E14

Dado E20

Extensión corta 5260 proto de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{1}{2}$ "

Extensión mediana 5260 proto de $\frac{3}{8}$ " a $\frac{3}{8}$ "

Descripción: Tomar material requerido: moldura placa tapiz, tornillos de asiento trasero, tuerca del asiento delantero, tornillo de receptáculo y cubierta tapa de receptáculo lateral, tomar e instalar asiento central dentro de la unidad. Tomar e instalar asiento delantero derecho. Ajustar cinturón de seguridad. Colocar moldura tapiz. Colocar cubiertas laterales (ver figura No. 22) y cubiertas correderas.

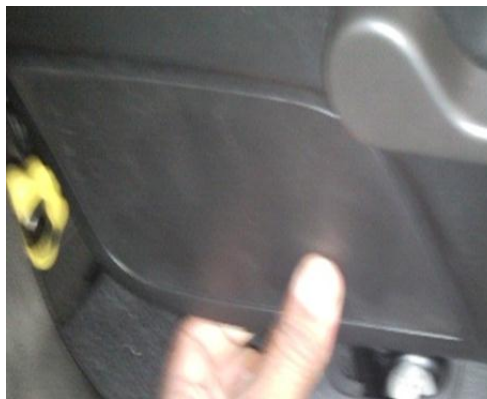


Figura No. 22. Instalación de las Cubiertas laterales

A continuación se observa la figura. No.23 que representa el área de tapicería del área de camiones de la empresa ensambladora de vehículos.

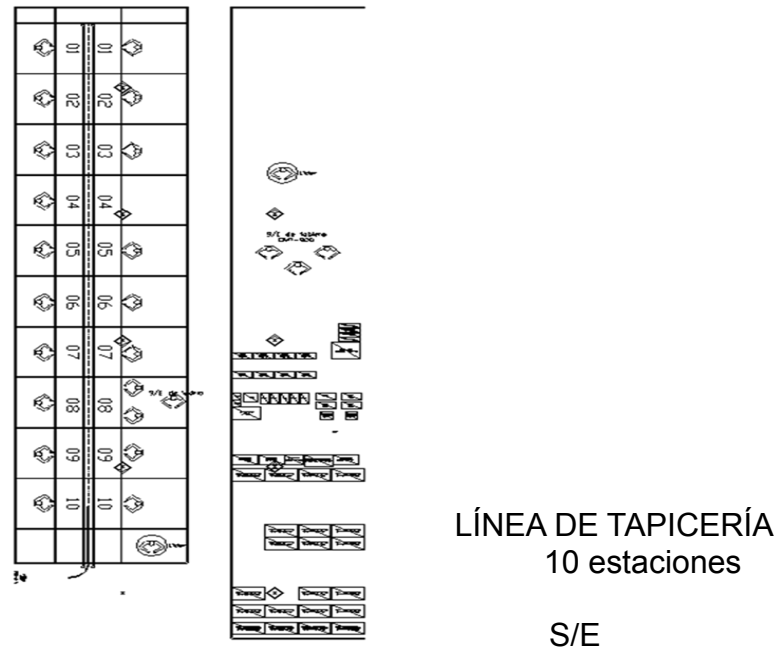


Fig. No. 23. Línea de Tapicería.

En este tipo de líneas complejas, debido al número de actividades, la aplicación de forma manual del Método BLEER se torna inviable desde el punto de vista de tiempo para dar una respuesta oportuna al problema, es por ello que desarrolló un programa automatizado cuyas especificaciones se describen en la sección siguiente.

4.5.2. Características del programa automatizado para el Método BLEER.

La aplicación fue desarrollada en el lenguaje VBA (*Visual Basic for Applications*) de Microsoft Excel 2013 y su compatibilidad se extiende a la versión 2010 y 2007 de la suite Microsoft Office, bajo licencia X16-96086. La programación sigue un enfoque modular, haciendo uso de los objetos y manejadores de eventos propios del lenguaje. Asimismo, se disponen algunos controles ActiveX para el manejo de eventos y el procesamiento de los datos, al tiempo que se utiliza como interfaz la misma aplicación Microsoft Excel para la entrada de datos, a través de los valores introducidos por el usuario en las celdas y las tablas dinámicas correspondientes.

La estructura del código está determinada por los siguientes objetos:

- **Hoja «Entrada»:** en esta hoja, el usuario introduce los datos de entrada. Su estructura es la siguiente:
 - **Botón de comando «cmdCalcular»:** está asociado al evento *cmdCalcular_Click* y ejecuta el algoritmo que determina el balance de líneas y el riesgo biomecánico, a partir de la información suministrada por el usuario. Además, valida los datos de entrada y ofrece un control adecuado para el manejo de las excepciones.

- **Botón de comando** «cmdListoReiniciar»: este botón puede tomar dos valores posibles en su propiedad *Caption*: «Listo» o «Reiniciar», según el usuario esté definiendo el número de actividades asociadas al cálculo o introduciendo los valores de entrada en las tablas dinámicas, respectivamente. Su comportamiento está definido por el evento *cmdListoReiniciar_Click* y las acciones a realizar están condicionadas al valor de la propiedad *Caption*, en cuestión.
- **Procedimiento** «OrdenaEntre»: ordena los valores de un arreglo unidimensional, definidos por los índices *n1* y *n2*, contenidos entre sus parámetros:
 - *vAsig*: arreglo unidimensional que contiene las actividades asignadas.
 - *n1*: índice del valor inicial de la estación cuyas actividades se desean ordenar.
 - *n2*: índice del valor final de la estación cuyas actividades se desean ordenar.
- **Procedimiento** «ValidarColumna»: asigna criterios de validación a las columnas de datos, según la naturaleza de los mismos y definidas por los siguientes parámetros:

- *nombre*: cadena de caracteres que contiene el nombre asignado al rango de datos que se desea validar.
 - *a*: cadena de caracteres con el número o la fórmula para aplicar la validación del valor mínimo.
 - *b*: cadena de caracteres con el número o la fórmula para aplicar la validación del valor máximo.
 - *msjeErr*: cadena de caracteres que contiene el mensaje de error mostrado al usuario.
-
- **Procedimiento** «LimpiaResultados»: elimina el contenido de las tablas dinámicas y del cuadro combinado «cboSoluciones», para descartar todos los resultados que se derivan del proceso de cálculo. Este procedimiento no contiene parámetros.
 - **Procedimiento** «MuestraError»: muestra al usuario un cuadro de diálogo indicando un mensaje de error. Su único parámetro es el siguiente:
 - *msjeErr*: cadena de caracteres que contiene el mensaje de error mostrado al usuario.

- **Botón de comando** «cmdPredeterminado»: está asociado al evento *cmdPredeterminado_Click* y permite cargar la información predeterminada del Índice BLEER.
- **Hoja** «Salida»: en esta hoja, el usuario puede observar los resultados obtenidos en una tabla y a través de un gráfico. Tiene dos controles ActiveX asociados:
 - **Cuadro combinado** «cboSoluciones»: genera el evento *cboSoluciones_Change*, asociado al cambio de valor en el índice de la lista de soluciones y llama al procedimiento *ObtenerResultados* para visualizar el resultado de la solución «n», escogida por el usuario.
 - **Botón de comando** «cmdGenerarPDF»: su comportamiento lo define el evento *cmdGenerarPDF_Click*, el cual genera un archivo PDF que contiene la tabla y el gráfico de la solución, visualizados actualmente por el usuario.
- **Hoja** «Soluciones»: en esta hoja, el usuario puede visualizar todas las soluciones válidas obtenidas por la aplicación y ordenarlas, según sus

valores de TCR, TO, promedio REBA o F. O. No ofrece ningún control adicional al usuario.

- **Hoja «REBA»:** contiene las tablas REBA, requeridas para el cálculo del valor REBA corregido, según la puntuación C. La hoja se ha ocultado y el usuario no tiene acceso a esta interfaz.

- Las funciones y procedimientos comunes se han dispuesto en un módulo aparte, cuyos modificadores de acceso son públicos, para que éstos puedan ser utilizados por cualquier objeto de la aplicación (botones de comando y cuadro combinado). Su conformación es la siguiente:
 - **Función «ValorREBA»:** calcula el valor REBA de una estación. Devuelve un valor de tipo *Byte*. Los parámetros de esta función son los siguientes:
 - *vAsig*: arreglo unidimensional que contiene las actividades asignadas por el algoritmo de determinación del balance de líneas.
 - *pos*: índice en el vector *vAsig*, que ocupa la primera actividad de la estación actual para la cual se está calculando el valor REBA.
 - *cantAct*: cantidad de actividades de la estación actual para la cual se está calculando el valor REBA.

- *tAcum*: tiempo acumulado en la estación actual.
- **Procedimiento** «ObtenerResultados»: muestra los resultados en forma de tabla de datos y gráfico, para la solución indicada por el usuario. Su único parámetro es:
 - *s*: número de la solución.
- **Procedimiento** «ObtenerDatosDeActividad»: obtiene información de interés, asociada a un balance de líneas (*actividades*, *vAsig*, *ne*, *tAcum* y *cantActPorEstac*). Sus parámetros son los siguientes:
 - *actividades*: cadena de caracteres que contiene información sobre todas las estaciones y actividades de un balance de líneas, codificadas según el formato: “ $A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1N} - A_{21}, A_{22}, \dots, A_{2N} - \dots - A_{M1}, A_{M2}, \dots, A_{MN}$ ”, p. ej.: la cadena “1,2,4-3,5-6,7,8,9” define un balance de líneas, con un total de tres estaciones, conformadas por las actividades 1, 2 y 4 para la primera estación, 3 y 5 para la segunda estación y las actividades 6, 7, 8 y 9 para la tercera estación. Esta información codificada está contenida en una columna de la tabla dinámica «Resultados», de la hoja «Soluciones». Se oculta al usuario la información de esta columna, ya que sólo es útil para propósitos internos del programa.

- *vAsig*: arreglo unidimensional que contiene las actividades asignadas por el algoritmo de determinación del balance de líneas.
 - *ne*: cantidad total de estaciones que componen el balance de líneas definido por el parámetro «actividades».
 - *tAcum*: arreglo unidimensional que contiene los tiempos acumulados de cada estación que compone el balance de líneas en cuestión.
 - *cantActPorEstac*: arreglo unidimensional que contiene la cantidad de actividades de cada estación.
- **Objeto** “ThisWorkbook”: finalmente, se define el evento *WorkBook_Open*. Su función es cargar la lista de soluciones al cuadro combinado «cboSoluciones», cuando se inicia la aplicación BLEER.

El diagrama de flujo modificado para el desarrollo del programa automatizado se aprecia en el anexo No. 2.

4.5.3. Aplicación del programa automatizado del Método BLEER en una empresa ensambladora de vehículos.

El desarrollo del programa automatizado para el Método BLEER permite ampliar la aplicabilidad del método a condiciones como las de la línea de tapicería de la empresa en estudio.

En primera instancia se debe proporcionar toda la información que requiere el programa como datos de entrada. Estos datos son:

TP (min/día) = tiempo disponible para producción

P (unidades/día) = cantidad de unidades a ensamblar por día

MAXS = cantidad de soluciones a generar por el algoritmo

m = cantidad de actividades

Tabla de actividades = en la cual se introduce el tiempo de cada una de las actividades, desde 1 hasta m. Se debe introducir el tiempo en segundos.

Tabla de valores REBA por actividad: introducir los valores REBA para cada una de las actividades que componen el proceso de ensamble.

También se proporciona la posibilidad de cambiar los valores de los parámetros de la ecuación del índice BLEER, sin embargo, se sugiere trabajar con los valores propuestos en esta investigación, ya que proporciona un equilibrio entre

las variables de producción y de riesgo biomecánico. A continuación se observa la pantalla de la hoja denominada “Entrada” donde se solicita al usuario del programa introducir toda la información pertinente. En el anexo No. 3 está disponible el manual del usuario en el cual se describe en forma detallada los pasos y características de las variables involucradas en el programa, para hacer uso del mismo de forma correcta. A continuación se describe el caso real de la línea de tapicería de la empresa ensambladora de vehículos, para lo cual se introducen los datos correspondientes a los requerimientos de producción tales como:

T_p (min/día) = 480 minutos

P (unidades/día) = 45 unidades, producción de la línea en el momento en que se desarrolló el programa.

$MAXS = 200$ (según lo que estime el usuario del programa)

$m = 89$

Se introducen los datos de tiempo de las 89 actividades de la línea de ensamble, el algoritmo calcula el tiempo en minutos y lo coloca en la columna indicada, posterior a ello, el usuario debe indicar las precedencias de cada una de las tareas. Además debe proporcionar los valores REBA obtenidos en cada actividad, para cada articulación comprometida en la tarea. En la figura No.24 se muestra la pantalla de entrada de datos del sistema para el caso real de estudio.

En la esquina superior izquierda de la hoja de entrada de datos se encuentra un cuadro en el cual se visualizan los parámetros del índice BLEER, estos parámetros están predeterminados con los valores anteriormente referidos ($\alpha=0,35$; $\beta = 0,15$; $\gamma = 0,5$). Estos valores son parámetros que pueden ser ajustados por el analista según los objetivos que persiga la organización.

Al terminar de cargar todos los datos solicitados por el sistema, el usuario debe presionar el botón “Calcular” para ejecutar el programa y obtener las soluciones factibles que genera el algoritmo.

The screenshot shows the 'Hoja de Entrada de datos' (Data Entry Sheet) in Microsoft Excel. The sheet is titled 'BLEER_I_dev - Microsoft Excel'. The ribbon includes 'Archivo', 'Inicio', 'Insertar', 'Diseño de página', 'Fórmulas', 'Datos', 'Revisar', and 'Vista'. The 'Inicio' ribbon is active, showing options for font, alignment, and styles.

The sheet contains the following sections:

- Índice BLEER**: A table with input fields for 'x TCR', 'x TO', and 'x RB'.
- Datos generales**: A table with input fields for 'm', 'TP (min/día)', 'P (unid./día)', and 'MAXS'.
- Tabla de actividades**: A table with columns 'Tarea', 'Tiempo (s)', 'Tiempo (min)', and 'Precedida por'.
- Valores de REBA por actividad**: A table with columns 'Actividad', 'Tronco', 'Cuello', 'Piernas', 'Brazo', 'Antebrazo', 'Muñeca', 'Fuerza/Carga', and 'Acople'.

The 'Tabla de actividades' table contains 16 rows of data. The 'Valores de REBA por actividad' table contains 16 rows of data.

Figura No. 24 Hoja de Entrada de datos

Una vez que el usuario presiona el botón “Calcular”, el algoritmo comienza a ejecutar los procedimientos internos diseñados para lograr el balance de líneas de ensamble, al finalizar la ejecución se muestra una hoja de “Salida” en ella se abre un cuadro de diálogo como el mostrado en la figura. No. 25

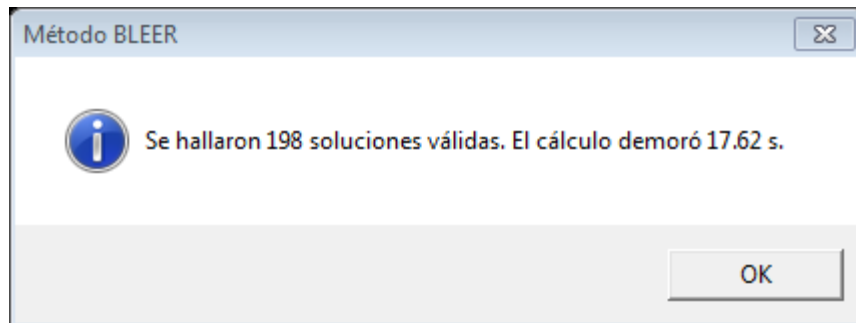
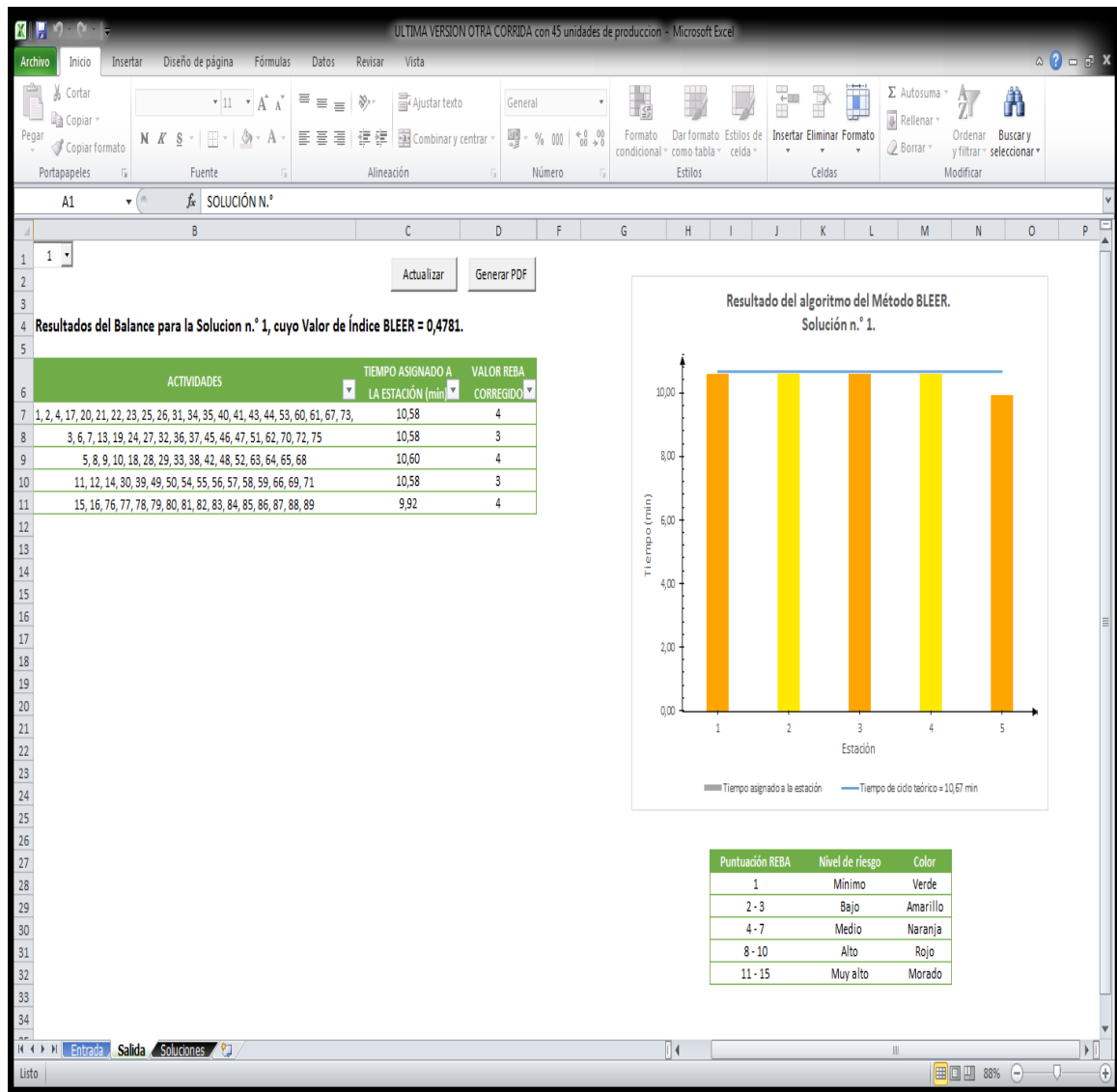


Figura No. 25 Resumen de la ejecución del algoritmo para el Método BLEER

Como puede apreciarse en la figura anterior, la ejecución del algoritmo BLEER para la línea de tapicería con 89 actividades y requiriendo generar 200 soluciones, llevó un tiempo de cálculo computacional de 17,62 segundos y se hallaron 198 soluciones factibles de balances de líneas de ensamble que cumplen con las condiciones establecidas en el Método BLEER. Es importante resaltar que sería casi imposible producir 198 soluciones, de forma manual, frente a un escenario de 89 actividades que hay que balancear.

Al presionar el botón de “ok” en la ventana anterior, se puede apreciar en la hoja de “salida” la solución que mejor satisface los requerimientos de las condiciones del problema de balance de líneas del área de tapicería. Esta hoja de salida se ilustra a través de la figura No. 26



**Figura No. 26 Hoja de salida para la línea de tapicería
con la aplicación del Método BLEER Solución 1**

En la imagen anterior, se muestra los resultados de la solución 1, la cual presenta el menor índice BLEER ($IB = 0,4781$) de las 198 soluciones generadas, el

programa ordena automáticamente las soluciones de menor a mayor índice, ya que se definió como una función de minimización. Las soluciones con menor índice BLEER son la que plantean el mejor equilibrio entre las variables de tiempo y de riesgo biomecánico.

En la hoja de “salida” mostrada en la figura anterior se presenta una tabla en la que se ilustra la asignación de las actividades por estaciones de trabajo de la solución, así como el tiempo asignado a cada estación y el valor REBA corregido por el tiempo.

Además permite visualizar de forma gráfica el balance generado, a través de un diagrama de barras, en cuyo eje “X” se posiciona las estaciones y en el eje “Y” el tiempo en minutos.

La barra horizontal representa el tiempo de ciclo teórico y el valor de riesgo REBA corregido se muestra en el gráfico a través de la relación entre de la puntuación REBA según el nivel de riesgo y un código de color mostrado debajo del gráfico, este código de color fue adaptado de la versión que se muestra en el formato de Evaluación REBA mostrado en la figura No.4 de esta investigación, esta adaptación se muestra en la tabla No. 11.

Tabla No. 11**Código para relacionar nivel de riesgo REBA por color**

Puntuación REBA	Nivel de Riesgo	Color
1	Mínimo	Verde
(2-3)	Bajo	Amarillo
(4-7)	Medio	Naranja
(8-10)	Alto	Rojo
(11-15)	Muy alto	Morado

En el gráfico, las barras se colorean según el nivel de riesgo de la estación, por ejemplo, en la solución 1 que se muestra en la fig. No. 24 las barras de las estaciones 2 y 4 son amarillas debido a que su nivel de riesgo REBA corregido está entre los valores 2 y 3, con riesgo bajo; sin embargo, las estaciones 1, 3 y 5, están representadas por una barra naranja que indica que su valor de riesgo REBA corregido está entre 4 y 7, con un riesgo medio a sufrir de lesiones músculo esqueléticas para los trabajadores asignados a dicha estación. Esto representa una ayuda visual significativa ya que permite identificar rápidamente las estaciones con sus diferentes valores de riesgo REBA, agregando valor para la toma de decisión y para planear acciones de mejoras relativas a aspectos ergonómicos.

De la solución 1 obtenida por el programa automatizado se puede analizar los siguientes datos generados por el método BLEER:

El índice BLEER de la solución 1 es de 0,4781, este es un valor adimensional que usa el algoritmo para ordenar las soluciones de menor a mayor valor, siendo las mejores soluciones las que posean menor índice BLEER.

Esta solución presenta los siguientes valores involucrados en la determinación del índice BLEER:

Tiempo de Ciclo Teórico = 10,67 min/unidad

Tiempo de Ciclo Real (TCR) = 10,60 min/unidad

Tiempo de Ocio (TO) = 0,73 min/unidad

Riesgo REBA corregido (RB) = 3,60

Como se puede observar, el balance ofrece un tiempo de ciclo real cercano al tiempo de ciclo teórico, aunque ninguna de las estaciones llega a alcanzarlo, esto genera un cierto grado de posibilidad de recuperación para las estaciones de trabajo. Las estaciones 1,3 y 5 con riesgo medio o naranjas tienen un tiempo asignado de 10,58 min/unidad, 10,60 min/unidad y 9,92 min/unidad respectivamente.

El programa ofrece además una tercera hoja de “soluciones” donde se muestran datos importantes para que el analista pueda decidir que otras soluciones son de interés analizar, para evaluar entre varias de ellas y tomar la decisión más ajustada a las necesidades y criterios prioritarios.

En la figura No. 27, se muestra esta hoja de salida para el caso de la línea de tapicería que se ha venido ilustrando en esta investigación.

	B	C	D	E	F
	N.º DE ESTACIONES	TCR (min)	TO (min)	RB	ÍNDICE BLEER
2	5	10.67	1.07	3.40	0.4783
3	5	10.60	0.73	3.80	0.4848
4	5	10.67	1.07	3.60	0.4850
5	5	10.67	1.07	3.60	0.4850
6	5	10.67	1.07	3.60	0.4850
7	5	10.67	1.07	3.60	0.4850
8	5	10.67	1.07	3.60	0.4850
9	5	10.60	0.73	4.00	0.4915
10	5	10.60	0.73	4.00	0.4915
11	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
12	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
13	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
14	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
15	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
16	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
17	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
18	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
19	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
20	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
21	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
22	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
23	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
24	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
25	5	10.67	1.07	3.80	0.4917

Figura No. 27 Hoja de salida para el balance a través del Método BLEER para la línea de tapicería.

A continuación se muestra en la tabla No. 12 los datos de algunas de las soluciones factibles que generó el programa del Método BLEER, para el balance de la línea de tapicería. La totalidad de las soluciones se muestran en el Anexo No. 4. Es importante señalar que las soluciones factibles son aquellas soluciones que genera el

algoritmo respetando las restricciones del balance de líneas desde el punto de vista de precedencias y de tiempo de ciclo teórico para asignaciones de actividades en estaciones de trabajo.

Tabla No. 12
Soluciones generadas por el Método BLEER

No. Sol.	N.º DE ESTACIONES	TCR (min)	TO (min)	RB	ÍNDICE BLEER
1	5	10,60	0,73	3,60	0,4781
2	5	10,60	0,73	3,60	0,4781
3	5	10.67	1.07	3.40	0.4783
4	5	10.60	0.73	3.80	0.4848
5	5	10.67	1.07	3.60	0.4850
6	5	10.67	1.07	3.60	0.4850
7	5	10.67	1.07	3.60	0.4850
8	5	10.67	1.07	3.60	0.4850
9	5	10.67	1.07	3.60	0.4850
10	5	10.60	0.73	4.00	0.4915
11	5	10.60	0.73	4.00	0.4915

Continuación Tabla No. 12

12	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
13	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
14	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
...					
197	5	10.67	1.07	5.20	0.5383
198	6	10.60	11.33	4.33	0.6516

Es importante hacer notar que se generan varias soluciones con el mismo índice BLEER, como es el caso de las soluciones 1 y 2, es decir, estas dos soluciones tienen el mismo índice ($IB = 0,4781$), y como las soluciones 5,6,7,8 y 9 entre otras. Por ello, el algoritmo permite visualizar el balance de las soluciones que el usuario desee, en la hoja de “salida” ya que a pesar de que presenten el mismo índice BLEER, el arreglo de las soluciones puede variar según como se hayan distribuido las actividades en las estaciones, y es el analista o el grupo de personas encargadas de tomar la decisión de cuál arreglo de balance seleccionar pero contando con la versatilidad y amplitud de información que le proporciona el programa el cual le ofrece una ventaja sustancial para el análisis en la toma de decisiones de balance de líneas con consideraciones ergonómicas.

Para visualizar otras soluciones en la hoja de Excel de Salida, se lleva el cursor a la esquina superior izquierda de la hoja, se ubica en la flecha donde se despliegan los números en orden descendente de las soluciones generadas, se

selecciona la que se desea revisar y de forma automática se muestra la solución solicitada. En la figura No. 28 se observa la solución No. 2.

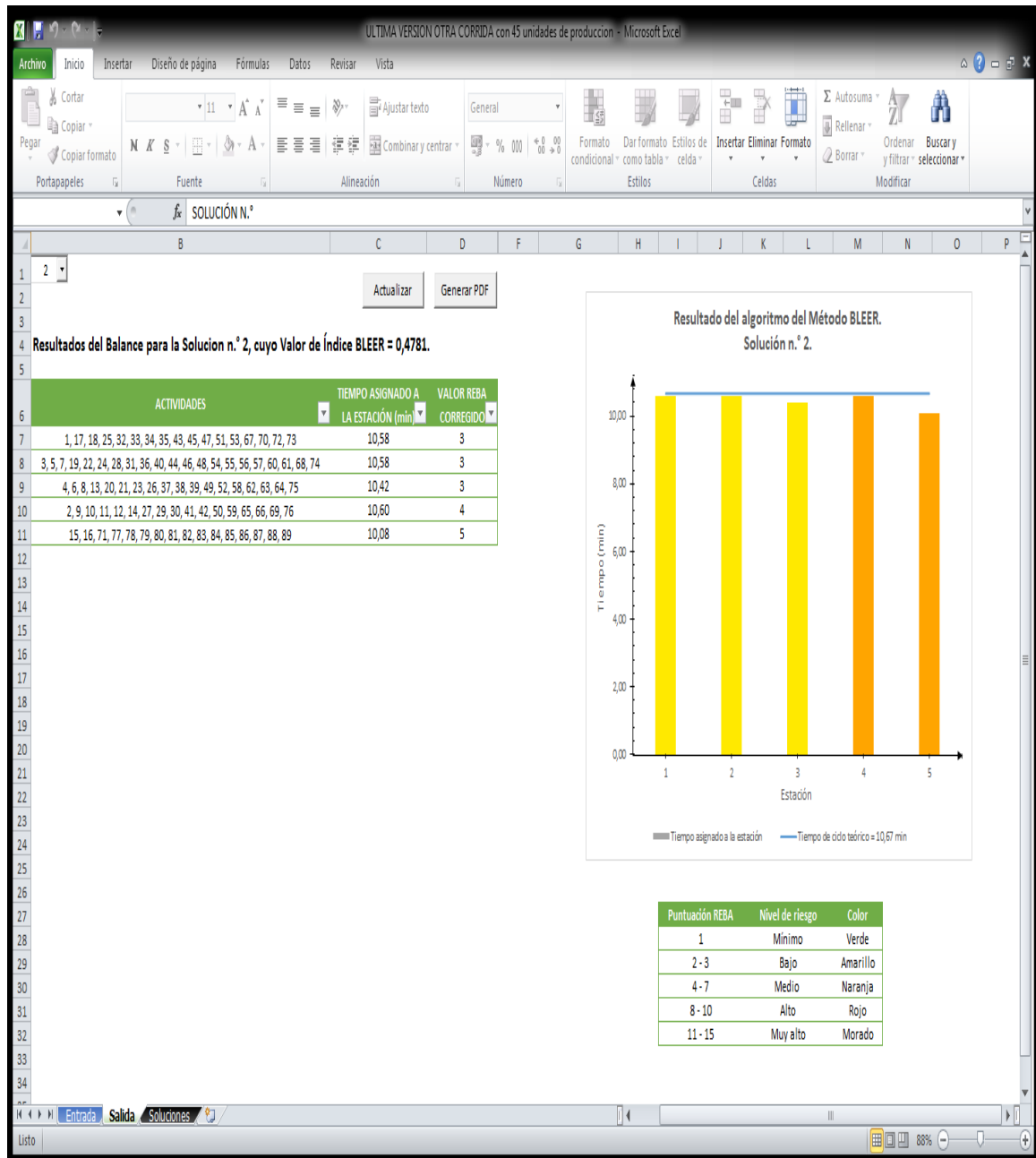


Figura No. 28. Resultados del Método BLEER para la Solución 2.

Los datos de la solución 2 son los siguientes:

Tiempo de ciclo teórico (C)= 10,67 min/ unidad.

Índice BLEER (IB) = 0,4781

Tiempo Real Asignado (TCR) = 10,60 min/unidad

Tiempo de Ocio (TO) = 0,73 min/unidad

Riesgo REBA corregido (RB) = 3,60

Se observa que en esta solución hay tres estaciones en riesgo REBA bajo (amarillo) y dos estaciones con riesgo REBA medio (naranja). En este caso, los tiempos asignados a cada una de las estaciones tampoco alcanzan el tiempo de ciclo teórico (C) estando entre 10,42 y 10,58 min/unidad las estaciones con bajo riesgo y las estaciones 4 y 5, con riesgo medio, alcanzan un tiempo de asignación de 10,60 y 10,08 min/unidad respectivamente.

Con estos dos escenarios, y para los requerimientos actuales de la línea de tapicería, el analista puede seleccionar cuál de estas soluciones es más satisfactoria como solución factible.

Para efectos de esta investigación, se seleccionaría la solución 2 frente a la solución 1, aunque ambas son excelentes opciones, dada la siguiente argumentación:

La solución 2 representa una mejor opción desde el punto de vista de balance de tiempo, generando mayor utilización en las estaciones de trabajo, y además genera un mayor número de estaciones con nivel de riesgo bajo y las estaciones con mayor compromiso, presentan un leve tiempo de recuperación, no se encuentran en total apremio de tiempo. Además es importante recalcar que los tiempos de entrada de datos son tiempos estándares, los cuales consideran tanto el factor de corrección de calificación de velocidad del operario, así como las tolerancias por necesidades personales, demoras inevitables y fatiga.

De forma general, el Método BLEER permite analizar un gran número de soluciones por lo cual el analista puede tomar una decisión que satisfaga de forma adecuada a la problemática del balance de líneas de ensamble con consideraciones ergonómicas en discusión. Algunos de los aspectos a considerar por el analista a través de la información y los resultados que proporciona el método, y que le servirán de apoyo para la toma de decisión son:

- a) Comparaciones entre los tiempos asignados a cada una de las estaciones.
- b) Comparaciones entre el tiempo de ocio que se genera en cada una de las estaciones.
- c) Niveles de riesgo biomecánico presentes en las estaciones de trabajo debido a la asignación de tareas en cada estación. Estos niveles de riesgo se pueden compensar con el tiempo de ocio de la estación, que puede

inclusive repercutir en el tiempo de recuperación a nivel del esfuerzo biomecánico.

- d) Cantidad de estaciones que presenten niveles de riesgo biomecánico con menores o mayores niveles de riesgo.
- e) Evaluar inclusive soluciones con cantidades de estaciones diferentes.
- f) Comparaciones entre los porcentajes de utilización de los elementos componentes del sistema

Además puede revisar si realmente son necesarias las estaciones de trabajo que están siendo utilizadas en la actualidad, verificar varios balances para diferentes niveles de producción, analizar opciones de balances que genera la variación de los parámetros del índice BLEER.

Con el fin de verificar la ejecución del método BLEER se ejecutó el programa cinco veces solicitando generar 200 soluciones cada vez, obteniéndose que las 10 mejores soluciones que proporciona el método son muy parecidas en cada una de las veces que se ejecutó el método, lo cual verifica el funcionamiento de la herramienta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo del proceso investigativo, se trazaron diversas líneas de acción que llevaron al logro de cada uno de los objetivos específicos planteados para alcanzar finalmente, de manera satisfactoria, el objetivo general. En cada una de las rutas o caminos transitados en las etapas de la investigación, se encontraron premisas, postulados, antecedentes objetos de análisis y de interpelación, para hallar convergencias y divergencias que fueron hilando el tejido investigativo y generando aportes epistemológicos.

Dentro de la revisión documental se indagó también aspectos ergonómicos entre los cuales se realizó una compilación de diferentes conceptos del término “ergonomía”, aportando un nuevo concepto basado en las deficiencias de los estudiados.

La revisión documental y el trabajo empírico permitieron progresar en el desarrollo metodológico para finalmente diseñar y desarrollar el método heurístico de Balance de Líneas de Ensamble con Consideraciones Ergonómicas (Método BLEER), este método basado en la heurística constructiva resuelve el problema de balance de líneas que es un problema de optimización combinatoria, a través de la optimización multiobjetivo utilizando como técnica la ponderación que logra integrar en una sola función los diferentes objetivos a optimizar: Tiempo de Ciclo Real

(TCR), el Tiempo de Ocio (TO) y el Riesgo Biomecánico (RB), los dos primeros referidos al tiempo de las estaciones debido a la asignación de tareas en las estaciones de trabajo, y el último considera el riesgo biomecánico de dicha asignación, esta consideración de tres criterios para equilibrar una línea de ensamble aporta a la teoría de balance de líneas una perspectiva integral en la cual el balance ofrece una asignación productiva y ergonómica logrando así una línea de ensamble armónica en función de la eficiencia y la salud del trabajador y específicamente en esta investigación se busca obtener un equilibrio entre ambos aspectos dado que se le asignó a los parámetros una ponderación de 50% para el riesgo biomecánico y 50% como la sumatoria de los dos objetivos relativos a la productividad.

Es oportuno resaltar lo interesante que resulta el tratamiento proporcionado al problema de balance de líneas que es un problema de Ingeniería Industrial se puede resolver a través de la heurística diseñada y con técnicas de optimización multiobjetivos.

Algunos autores citados en los capítulos anteriores refieren en sus investigaciones que los problemas de líneas de ensamble requieren de métodos eficientes y rápidos para hallar respuestas adecuadas muy cercanas al óptimo, por ello recomiendan el uso de técnicas heurísticas o meta-heurísticas de la misma manera como han sido aplicadas en la solución de problemas de balanceo de líneas, en este sentido, la presente investigación aborda el tema desde la heurística, por lo que el

método propuesto genera soluciones factibles que se ajustan de manera satisfactoria a la resolución del problema de balance de líneas con consideraciones ergonómicas.

Con el método BLEER, el analista, tanto de producción como de riesgo, cuentan con una herramienta que le proporciona un grupo de soluciones factibles para el problema de balance de líneas las cuales presentan un equilibrio entre el tiempo y las cargas de trabajo, listadas en orden creciente del índice BLEER, siendo la mejor solución obtenida la de menor valor ya que la función objetivo es de minimización, lo cual ayuda al analista, según su experticia, necesidades y requerimientos, a seleccionar el balance del línea que mejor se ajuste a los requerimientos de la situación. La implementación del programa en las organizaciones impacta significativamente ya que éste aporta una gran cantidad de soluciones factibles en escasos segundos, lo cual le proporciona flexibilidad para la toma de decisiones.

El método heurístico diseñado, es decir, el Método BLEER puede ser aplicado a cualquier línea de ensamble, con las modificaciones a que hubiera lugar para adecuar el algoritmo a las características de cada una en particular, puede reproducirse el método permaneciendo la estructura funcional del algoritmo y variando entonces los parámetros necesarios para adaptarlo a los nuevos requerimientos, ya que en el sector industrial existe una gran variedad de productos a ensamblar, y no necesariamente las líneas de ensamble presentan las mismas características, como es el caso del ensamble de equipos electrónicos, donde los

trabajadores permanecen la mayoría de su jornada sentado, entonces el factor de bipedestación prolongada ya no es un factor significativo y debe entonces redimensionarse el algoritmo para ajustarlo a los cambios necesarios.

Como líneas abiertas de investigación se propone seguir ampliando los criterios considerados en la función multiobjetivo para incluir otros aspectos ergonómicos como la carga mental asociada a los factores psicosociales, aspecto éste que requiere un abordaje del tema con visión holística.

Con la variación de los parámetros del índice BLEER (λ, β, γ) se puede ejecutar el programa automatizado y estudiar los resultados obtenidos a través de un tratamiento estadístico que pueda determinar si las soluciones que conforman el frente Pareto Óptimo siguen alguna distribución conocida, con una media y una desviación estándar particular, lo cual puede ampliar aún más el espectro de información para la toma de decisiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APTEL, M. (2001). TMS du membre supérieur liés au travail: des connaissances établies pour construire la prévention. Quels facteurs de risques?. Quels liens avec le stress?. Prévenir les TMS, mieux articuler santé et organisation du travail, Acta deC Coloquio, 27 y 28 de noviembre de 2001. París.

ARIAS, G (2014). ¿ Cómo se desempeñó Latinoamérica a nivel inflacionario en el 2013? Revista Estrategias y Negocios. Disponible en línea en: <http://www.estrategiaynegocios.net/csp/mediapool/sites/EN/LasClavesDelDia/story.csp?cid=562802&sid=1356&fid=330>

BANCO CENTRAL DE VENEZUELA (BCV). Indicadores. Tipo de Cambio. Disponible en línea en <http://www.bcv.org.ve/>

BERNARD, B. (1997). A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back (1997). U.S. Department of Health and Human services. Centers for Disease Control and Prevention. (NIOSH) National Institute for Occupational Safety and Health. Cincinnati.

- BOLAT, A. (1997). Stochastic procedures for scheduling minimum job sets on mixed model assembly lines. *Journal of Operational Research Society*, Vol. 48, pp. 490-501
- BOLAT A., Y YANO C. (1992). Scheduling algorithms to minimize utility work at a single station on paced assembly line. *Production Planning and Control*, 3 (4), 393-405.
- CACHUTT, C., RODRÍGUEZ, E., VARGAS, E Y ARAVENA, E. (2009). Demanda biomecánica en el Ensamblaje de un vehículo camioneta deportiva. *Revista Ciencia y Trabajo*. Año 11(34) pp:177-183. Consultado en marzo 2011 de www.cienciaytrabajo.cl
- CANO, J., (2006). Modelos y Algoritmos de Secuenciación en líneas de ensamble de productos mixtos. Tesis de grado del programa doctoral Aplicacions Tècniques i informàtiques de L'estadística, La investigació operativa i L'optimització. Universidad Politécnica de Catalunya. Consultado en Marzo 2011 de <http://www.nissanchair.com/JIT/ThesisJCB-co.pdf>.
- CAPACHO, L., Y MORENO, P., (2004). Generación de Secuencias de Montaje y Equilibrado de Líneas. Tesis Doctoral de la Universidad Politécnica de Catalunya.

Doctorado en Automatización Avanzada y Robótica. España. Consultado en marzo 2011 de <http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/509/1/IOC-DT-P-2004-04.pdf>

CASTELLUCI, I., GONCALVES, M. & AREZES, P. (2009). Consideraciones Ergonómicas de las Salas de Clases en Escuelas Portuguesas de Primer Ciclo Revista Ciencia y Trabajo, Nro.34. Año 11. Consultado el 14 de mayo de 2010 de: www.cienciaytrabajo.cl

CASTILLO I., GARCÍA, S., MEDINA, P., SÁNCHEZ, B., MOLINAR, M., Y MALDONADO, A. (2004). Propuesta ergonómica para el área de sub-ensamble de motores de lancha. Ponencia registrada en las memorias del VI Congreso Internacional de Ergonomía SEMAC., pp: 226-235.

CERVANTES C, MALDONADO, A., COLIN, E., LÓPEZ, Y., RAMÍREZ, S. (2004). Ergofrezz. Memorias del VI Congreso Internacional de Ergonomía. Sociedad de Ergonomía de México A.C. Universidad de Guanajuato, del 26 al 29 de mayo de 2004, pp: 149-159.

COLOTTO M, MANERO, R, PEDRIQUE, A Y WOLF, H. (2008). La Ergonomía Prospectiva como tecnología para la evaluación de puestos de trabajo en una línea

de ensamble de furgonetas en Venezuela. Consultado en marzo 2011 de:
<http://prevencionintegral.com/Articulos/@Datos/ ORP2008/855.pdf>

CORONADO J Y OSPINA H. (2013). Incorporación de Riesgos Ergonómicos en el
Balanceo de Líneas de Essamble en U. Working Papers Operations Management.
Vol 4. No.2 p.29-43.ISSN 1989-96.Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.4995/wpom.v4i2.1164>.

DANIELLOU F. (2007). La prevención de los desórdenes músculo-esqueléticos:
ampliar los márgenes de maniobra de todos. Proceedings del 2do. Congreso de la
Unión Latinoamericana de Ergonomía. Bogotá, Colombia.

ESCALONA, E. (2001). Trastornos músculo-esqueléticos en miembros inferiores:
Condiciones de trabajo peligrosas y consideraciones de género. Revista Salud de
los Trabajadores, 9 (1), pp. 23-33.

ESCALONA E, YOUNNUSG M, GONZÁLEZ R, et al. (2002). Ergonomía como
herramienta para trabajadoras y trabajadores. Ediciones Rectorado. Universidad
de Carabobo. Valencia: Ed. TATUNC C.A.

GASCA M, RENGIFO, M., Y RODRÍGUEZ, E. (2008). Evaluación Ergonómica de los Puestos de Trabajo en el área de Tapas de una empresa metalúrgica. Revista Ingeniería Industrial: actualidad y nuevas tendencias. Año 1, Vol I, No. 1.

GOUVALI M Y BOUDOLOS, K. (2006). Match between school furniture dimensions and children's anthropometry. Applied Ergonomic. 37: 765-773.

HAGBERG, M, VIOLANT, F, ARMSTRONG, T., KILBON, A., (2000). Epidemiology of neck and upper limb disorders and work place factors. Occupational ergonomics. Work related musculoskeletal disorders of the upper limb and back. Londres: Taylor & Francis, cap 3, pp 20- 28.

HIGNETT S Y MCATAMNEY, L (2000). Rapid Entire Body Assessment. Applied Ergonomics, 31 pp:201-205.

IDOATE V. Y POLLÁN M. (2003). Evaluación Multitarea de la Carga Física. Mapfre Seguridad No.90. Segundo Trimestre 2003. Pp: 19-27.

KUBIAK, W., SETHI,S. (1991). A note on 'Level schedules for mixed-model assemblylines in just-in-time production systems. *Management Science*, 37, 1, 121-122

- KUBIAK, W. (1993). "Minimizing variations of productions rates in just-in-time systems: A survey", Eur. J. Opl. Res., 66, 259-271.
- MANERO R., SOTO, L Y RODRÍGUEZ, T (2005). Un modelo simple para la evaluación para la evaluación integral del riesgo a lesiones músculo-esqueléticas (MODSI). Mapfre Medicina No. 16, pp: 86-94. Consultado en diciembre 2012 de: <http://www.mapfre.com/ccm/content/documentos/fundacion/salud/revista-medicina>.
- MANERO, R., CAPOTE, N Y RODRIGUEZ, E. (2008). Síntomas y Signos de Lesiones de Espalda en tres etapas de la vida. VI Congreso de Prevención de Riesgos Laborales. ISBN 84934256-5-6. Xunta de Galicia y Escuela Técnica Superior de Ingeniería. España.
- MEDINA E., DI DOMÉNICO, C. (2007). Evaluación Ergonómica de los puestos de Trabajo Administrativos en una empresa manufacturera de grasas y lubricantes. Revista Ingeniería y Soceidad-UC. Año 2, No. 1, pp: 27-31.
- MEDINA, E (2009). Evaluación de las Condiciones Ergonómicas del niño en edad escolar. Caso: Instituciones Educativas del estado Carabobo, Venezuela. Revista Ingeniería y Sociedad-UC. Período I-2009, Vol 4, No. 1.

MEDINA E., ILLADA R., (2012). La Ergonomía desde una perspectiva jurídica en Venezuela y el mundo. Revista Gaceta Laboral Vol 18, No.2. pp:230-243. Universidad del Zulia.

MELIAN B., MORENO J., MORENO M. (2003). Metaheuristics: A global view. Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. No.19 (2003), pp. 7-28. ISSN: 1137-3601. © AEPIA (<http://www.aepia.org/revista>).

MILTENBURG, J.G. (1989). Level schedules for mixed-model assembly lines in just-intime production systems, Management Science, 35, 2, 192-207.

MILTENBURG, J.G., STEINER G., YEOMANS S. (1990). A dynamic programming algorithm for scheduling mixed-model, just-in-time production systems", Mathl. Comput. Modelling, 13, 3, 57-66.

NILS, B, MALTE F., Y ARMIN, S. (2007). A classification of assembly line balancing problems. European Journal of Operational Research., Vol (183), Issue 2. Pag. 674-693.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (2010). Survey of Occupational injuries & Illnesses summary estimates charts package. Consultado en febrero 2011 de <http://www.bls.gov/iif/oshwc/osh/os/osch0042.pdf>

OKAMURA K., & YAMASHINA, H. (1979). A heuristic algorithm for the assembly line model-mix sequencing problem to minimize the risk of stopping the conveyor. *International Journal of Production Research*, 17 (3), 233-247.

OFICINA CENTRAL DE INFORMACIÓN (OCEI). http://biblioteca.bcv.org.ve/cgi-win/be_alex.exe?Editorial=Oficina+Central+de+Informaci%F3n&Nombrebd=bcv_internet

OTTO, A & SCHOLL A., (2011). Incorporating ergonomic risks into assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 212 (2).pp 277-286.

PALOMINOS, P., Y GODOY, V., (2010). Heurística para el equilibrado de líneas de ensamble del tipo TSS. *Ingeniari. Revista Chilena de Ingeniería*. Vol 18, Nro.3.pp. 364-372. Consultado en marzo 2011 de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052010000300010&script=sci_arttext&tlng=pt

PADILLA, E. & SEQUERA, J. (2007). Demanda de automóviles nuevos en Venezuela. Estudio empírico 1960-2003. Edición electrónica gratuita. Consultado en febrero 2011 de www.eumed.net/libros/2007a/247/

PANAGIOTOPOULOU G, CHRISTOULAS K, PAPANICKOLAOU A, M et al. (2004). Classroom furniture dimensions and anthropometric measures in primary school. *Applied Ergonomics*. 35: 121-128.

PEROZO A, MARTÍNEZ M, RODRÍGUEZ C., Y ALVAREZ M. (2012). Desarrollo de una herramienta visual para la rotación ergonómica en puestos de trabajo en la cabina de pintura perteneciente a la ensambladora automotriz. Trabajo presentado en la 11va. Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI 2013) Cancun, México. Disponible en <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/StudentPapers/SP006.pdf>.

PUNNETT L., Y WEGMAN, D. (2004). Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 14 (2004) 13–23. Consultado en abril 2011 de www.elsevier.com/locate/jelekin.

RAMÍREZ, S., MARROQUÍN, E., Y CÓRDOVA, J., (2007). Reasignación de tareas a operarios en una Estación de Trabajo: un Enfoque Evolutivo. *Revista de la Ingeniería Industrial*. Volumen I, No.1. Consultado el 8 de abril de 2011 de: <http://academiajorunals.com/downloads/ramirez.pdf>

RENDÓN M Y HERNÁNDEZ P (2010). Sense Making: Metateoría, Metodología o Heurística. Investigación Bibliotecológica. Vol 24 No. 50 México. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-358X2010000100005

RESTREPO, J., MEDINA, D., Y CRUZ, E. (2008). Problemas de Balanceo de Línea SALBP-1 y SALBP-2: Un caso de estudio. Scientia et Technica, Año XIV, No. 40, Diciembre de 2008. Universidad Tecnológica de Pereira. Pág. 105-110. Consultado en Diciembre de 2012 en la página web: <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docs.FTP>

RIIHIMÄKI, H. (2001). Sistema musculoesquelético. Visión general. En: OIT. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo (v.1, Cap. 6, pp. 6.2). 3 ed. Madrid: AU.

RÍOS A, ALVAREZ, L., VARGAS M., (2008). Retos para el siglo XXI: biomecánica y terapia ocupacional. Revista colombiana de rehabilitación. Año 7, (7), pp: 73-81.

RODRÍGUEZ E., FERNÁNDEZ, S Y VERDE D (2007). Estudio Integral en el área de noyería de una empresa metalúrgica. Revista Ingeniería y Sociedad-UC. Año 2, No.1, pp: 6-13.

RODRÍGUEZ E., Y MANERO, R (2008a). Evaluación integral del nivel del riesgo músculo-esquelético en diferentes actividades laborales. Salud de los Trabajadores. Vol 16, (1), pp:17-28

RODRÍGUEZ E., MEDINA, E Y MANERO, R (2008b). Evaluación del Nivel de Riesgo a lesiones Músculo-esqueléticas en el Sector automotriz venezolano. Revista Universidad, Ciencia y Tecnología. Vol. 12, Nro. 48. Pp. 147-156.

.RODRÍGUEZ E., VARGAS E., ARAVENA E., CACHUTT C (2009). Demanda Biomecánica en el ensamblaje de un vehículo compacto. Revista Universidad, Ciencia y Tecnología. Vol. 13, Nro.52.

ROZO L. (2009). Condiciones de salud y trabajo asociadas a dolor lumbar inespecífico en los operarios de la línea de ensamble de Superpolo S.A Trabajo de grado para optar por el título de Magister en Salud y Seguridad en el Trabajo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Enfermería. Disponible en línea en <http://www.bdigital.unal.edu.co/8620/1/539334.2009.pdf>.

SARKER B., Y PAN, H. (1998). Designin a mixed-model assembly line to minimize the cost of idle and utility times. Computers & Industrial Engineering, 34, (3), 609-921.

SCHWAB, K. (2013). *The Global Competitiveness WorReport 2013-2014*. World

Economic Forum. Disponible en línea en:

http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalCompetitivenessReport_2013-14.pdf

SNOOK, S (1978). The design of manual handling task. *Ergonomics*, 21:12., pp: 963-985.

SNOOK, S Y CIRIELLO, V (1991). The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces. *Ergonomics*, 34 pp: 1197-1213.

SOQUI, M., Y VÁZQUEZ, V. (2003). Aplicación de la simulación, para justificar la implementación de proyectos ergonómicos, en líneas de producción con ensamble manual: caso empresa Teradyne. Trabajo libre presentado en la V Congreso Internacional de Ergonomía Semac y IX Reunión Binacional de Ergonomía México-E.U.A. Consultado en abril de 2011 de: <http://www.semac.org.mx/archivos/5-21.pdf>

SUMICHRAS, R.T., RUSSELL, R.S., (1990). Evaluating mixed-model assembly line sequencing heuristics for just-in-time production systems. *Journal of Operations Management* 9, 371-390

TAKALA, J (2010). Workplace Safety and Health as a Strategy for Success.

Ponencia presentada en Singapore WSH Conference, Symposium: Development & Implementation of National WSH Strategies. 15 de sep. 2010. Consultado en enero 2011 de <http://osha.europa.eu/en/press/articles/presentation-whs-singapore-2010>

TASAI L., (1995). Mixed-model sequencing to minimize utility work and the risk of conveyor stoppage. Management Scienci, 14, B59-B75.

VÁZQUEZ L, ESCÁRCEGA, J Y MEDINA, A. (2009). Sistema de evaluación ergonómica para estaciones de trabajo manual, en los procesos de producción, en la industria maquiladora del Noreste del Estado de Sonora. Memorias del XV Congreso del Internacional de Ergonomía SEMAC. Consultado en marzo 2011 de <http://www.semac.org.mx/archivos/congreso11/EVAL6.pdf>

VARGAS P., SÁNCHEZ, F Y MEDINA, E (2010). Evaluación Ergonómica en el área de armado de una empresa cauchera venezolana. Revista Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias. Año 3, Vol. 2, No. 5, pp: 7-22.

WATERS T., PUTZ-ANDERSON, V., Y GARG, A., (1994). Applicatin Manual for the Revised Niosh Lifting Equation. U.S. Department of Health and Human Services. Centers for Disease Control and Prevention. Cincinnati, Ohio.

WINKEL J., Y WESTTGAARD, R. (1996). A model for solving work related musculoskeletal problems in a profitable way. *Applied Ergonomic*, 27, pp: 71-77.

XIAOBO, Z Y OHNO, K., (1997). Algorithms for sequencing mixed models on an assembly line in a JIT production systems. *Revista Computers&Industrial Engineering*, 32, pp: 47-56.

XU, Z. KO, J., COCHRAN D., Y JUNG M., (2012). Design of assembly lines with the concurrent consideration of productivity and upper extremity musculoskeletal disorders using linear models. *Computer & Industrial Engineering* 62, (2), 431-441.

YANO C., Y BOLAT A., (1989). Survey, development, and application of algorithms for sequencing paced assembly lines. *Journal of Manufacturing and Operations Management*, 2, (3), 172-198.

YANO C., Y RACHAMADUGU, R., (1991). Sequencing to minimize work overload in assembly lines with product options. *Management Science*, 37 (5), 572-586.

BIBLIOGRAFÍA

- BEUCHOT, M. (2000). Heurística y hermenéutica en El Concepto de heurística en las ciencias y humanidades Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM, Siglo XXI, pp. 101–112.
- BURGOS F (2012). Ingeniería de Métodos, Calidad y Productividad. 5ta Reimpresión de la 2da. Edición. Universidad de Carabobo. ISBN 980-328-175-5.
- GAITHER N Y FRAZIER G (2000). Administración de Producción y Operaciones. Cuarta Edición. International Thomson Editores. México. Pp:280-281.
- GUELAND, F. (1982). Para un análisis del trabajo obrero en la empresa. Lima: Inda-Inet. Laboratorio de Economía y Sociología del Trabajo.
- HURTADO J. (2010). El proyecto de investigación. Comprensión Holística de la metodología y la investigación. Sexta Edición. Ediciones Quirón. Bogotá. Colombia.
- LEY ORGÁNICA DE PREVENCIÓN DE PREVENCIÓN, CONDICIONES Y MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO. (2005). Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela

LIM, S., SAUTER, S. & SWANSON, N. (2001). Factores psicosociales y de organización. Efectos Crónicos en la Salud: Trastornos músculo-esqueléticos. OIT. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo (v.2, Cap. 34, pp. 34.72-3). 3 ed. Madrid: AU.

MÁRQUEZ M (2007). Ergonomía. Fundamentos de Ergonomía Industrial. Guía Práctica. Fondo Editorial UNET.

MONDELO P., GREGORI, E Y BARRAU, P (2000). Ergonomía 1. Fundamentos. 3ra. Edición. Alfaomega Editores. Ediciones UPC.

MONDEN, Y. (1983). Toyota Production System. Georgia: Institute of Industrial Engineers. Norcross, GA.

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA (2012). Decreto con Rango, Valor y Fuerza de Ley Orgánica del Trabajo, los Trabajadores y las Trabajadoras, Gaceta Oficial No. 6.076, extraordinaria. Caracas, 07 de mayo de 2012.

PUTZ-ANDERSON, V (1994). Cumulative Trauma Disorders. A Manual for muskuloeskeletal Diseases of the Upper Limbs. Taylor & Francis, London.

RODRÍGUEZ, E. (2007). Ergonomía 1. Cuadernos de Ingeniería Industrial.
Universidad de Carabobo.

STEUER, R.E. (1986). Multiple Criteria Optimization: Theory, Computations, and
Application. New York: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-88846-X

LINKOGRAFÍA

AGENCIA EUROPEA PARA LA SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

(2011). Estadísticas. Consultado en Febrero 2011

<http://osha.europa.eu/es/statistics/index.stm>.

ESCAITH, H. (2003). Tendencias y Extrapolación del Crecimiento en América Latina y el Caribe. Recuperado el 14 de Enero de 2010, de www.eclac.cl/publicaciones/xml/3/12163/lcl1886e.pdf

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA DE VENEZUELA. (2010).

Principales indicadores de la Industria Manufacturera. Total Nacional 2000-2004. Consultado el 15 de enero de 2013, de:

<http://www.ine.gov.ve/industrias/induestrias.asp>.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (2011). Población total, activa y ocupada de Venezuela. Consultado en febrero 2011 de: www.ine.gov.ve/ine/hogares/selecciónhogares.asp.19-27.

INPSASEL (2006). Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laboral (2010). Registro de Enfermedades Ocupacionales año 2006. Consultado en noviembre de 2010 de:

http://www.inpsasel.gob.ve/moo_medios/sec_estadisticas.html.

MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

E INDUSTRIAS INTERMEDIAS. (2010). Convocatoria del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Recuperado el 11 de febrero de 2011 de la página web:

http://www.mct.gob.ve/Vistas/Frontend/convocatorias/contenido_convocatoria.php?id_convocatoria=72

MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA PLANIFICACIÓN Y

DESARROLLO. (2008). Logros de la Revolución en un país de 28 millones de habitantes. Consultado el 16 de Enero de 2010, de <http://www.mpd.gob.ve>

SENIAT (2010). Servicio Nacional Integrado de Administración Aduanera y

Tributaria. Consultado en junio 2012 en la página web:

http://www.seniat.gob.ve/portal/page/portal/PORTAL_SENIAT.

ANEXOS

ANEXO No. 1

Aplicación del Método BLEER de forma manual

Aplicación del Método BLEER de forma manual a un ejemplo teórico de líneas de ensamble que consta de 9 actividades, cuyos tiempos y precedencias se muestran a continuación:

Actividades, tiempos y precedencias de un proceso de ensamble

Tarea	Tiempo (s)	Tiempo (m)	Precedida por
1	300	5	---
2	180	3	---
3	360	6	---
4	480	8	1
5	600	10	2
6	420	7	5
7	60	1	3,4,6
8	300	5	7
9	180	3	8

El tiempo de ciclo teórico es de 18,46 min/unidad, dado que la tasa de producción de la línea es de 26 unidades al día y se dispone de 480 min al día como

jornada laboral. En la figura siguiente se visualiza el diagrama de precedencias de las actividades antes señaladas.

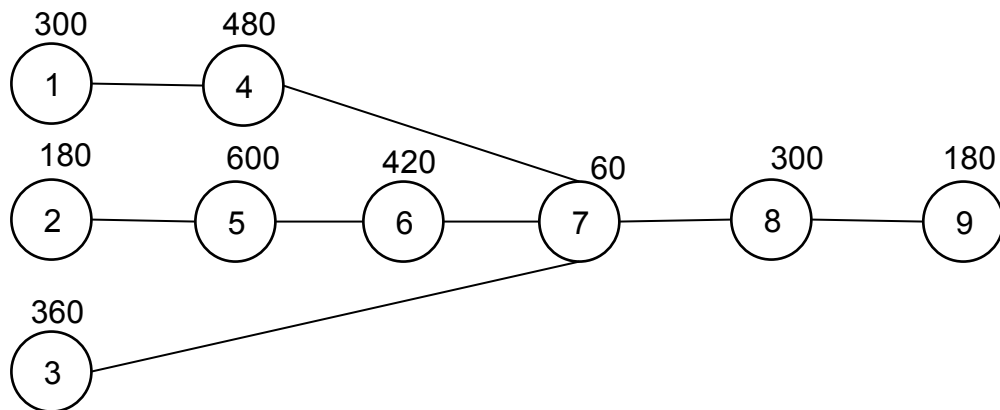


Diagrama de Precedencia de las Actividades de una Línea de Ensamble

Para balancear la línea, el Método BLEER aplica el procedimiento descrito en el capítulo IV, se muestra a continuación la ejecución del mismo para una solución a manera de ejemplo:

Solicitar los datos de entrada:

Producción = 26 unidades/día

TP = Tiempo disponible de producción = 480 min/día

MAXS= número máximo de soluciones deseadas = 1

(a la variable MAXS se le asignó el valor de 1 para fines del ejemplo)

Tabla de actividades con los tiempos y precedencias (mostrada en la página anterior).

Calcular el Tiempo de Ciclo C:

$$C = TP/P = 480/26 = 18,46 \text{ min/unidad}$$

Calcular el Tiempo total Tt = sumatoria de los tiempos de las actividades:

$$Tt = 2880 \text{ segundos} = 48 \text{ minutos}$$

Calcular el número mínimo de estaciones k:

$$k = Tt/C = 48/18,46 = 2,46 \text{ estaciones}$$

Inicializar las variables:

$$TCR = 0,$$

$$NS = 0,$$

$$AA = 0,$$

$$ANA = 0,$$

$$Vasig = (0,0,0,0,0,0,0,0,0)$$

$$Vana = (0,0,0,0,0,0,0,0,0);$$

$$j = 0$$

Ejecutar:

$$j = j + 1 = 0 + 1 = 1$$

$$Tacum(j) = 0, \text{ es decir } Tacum(1) = 0$$

Generar un número aleatorio:

$$ri = 2$$

Verificar si r_i pertenece al V_{sig}

No pertenece, entonces

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad

Si se cumple, entonces

$$T_{acum}(1) = T_{acum}(1) + T(2) = 0 + 3 = 3 \text{ min}$$

Verificar si $T_{acum}(1) \leq 18,46$

$$¿3 \leq 18,46? \rightarrow \text{si,}$$

Entonces se asigna la actividad 2 a la estación 1

Estación 1:

Actividades: 2

Tiempo (min) = 3

Tacumulado (min) = 3

Asignar al vector de actividades asignadas la actividad 2

$$V_{sig} = (2,0,0,0,0,0,0,0,0)$$

Incrementar el contador de actividades asignadas:

$$AA = 0+1 = 1$$

Verificar si el contador de actividades asignadas es igual al número de actividades m

$$¿AA = 9? \rightarrow \text{no,}$$

Entonces se regresa hacia B:

Generar número aleatorio:

$$r_i = 5$$

Verificar si la actividad 5 se encuentra almacenada en el vector de actividades asignadas:

$5 \in V_{sig}?$ $\rightarrow$ no, entonces:

Verificar si se cumple las precedencias para asignar la actividad:

$\rightarrow$ ¿se cumple las precedencias? $\rightarrow$ no, entonces:

Se almacena la actividad 5 en el vector de actividades no asignadas:

$V_{ana} = (5, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$

Incrementar el contador de actividades no asignadas:

$ANA = ANA + 1 = 0 + 1 = 1$

Regresar hacia B

Generar número aleatorio:

$r_i = 1$

Verificar si la actividad 1 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$1 \in V_{sig}?$ $\rightarrow$ no, entonces:

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 1:

$\rightarrow$ ¿se cumple con las precedencias? $\rightarrow$ si, entonces:

$T_{acum}(1) = T_{acum}(1) + T_1 = 3 + 5 = 8$

Verificar si el tiempo acumulado en la estación 1 es menor o igual al Tiempo de ciclo

$T_{acum}(1) \leq 18,46?$ $\rightarrow$ si, entonces:

Asignar la actividad 1 a la estación 1:

Estación 1:

Actividades: 2,11

Tiempo (min) = 3,5

Tiempo acumulado (min) = 8

Almacenar la actividad 1 al vector de actividades asignadas:

$V_{sig} = (2, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$

Incrementar el contador de actividades asignadas:

$AA = AA + 1 = 1 + 1 = 2$

Verificar si el contador de actividades asignadas es igual a 9:

$\{2 = 9\} \rightarrow$ no, entonces:

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$r_i = 7$

Verificar si la actividad 7 está almacenada en el vector de asignaciones

$\{7 \in V_{sig}\} \rightarrow$ no

Verificar si se cumplen las precedencias para asignar la actividad 7 en la estación 1

$\{se\ cumple\ las\ precedencias\} \rightarrow$ no,

Verificar si la actividad 7 se encuentra almacenada en el vector de actividades no asignadas:

$\{7 \in V_{ana}\} \rightarrow$ no, entonces:

Almacenar la actividad 7 en el vector de actividades no asignadas:

$V_{ana} = (7, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$

Incrementar el contador de actividades no asignadas

$ANA = ANA + 1 = 1 + 1 = 2$

Verificar si la cantidad de actividades asignadas más la cantidad de actividades no asignadas es igual a la cantidad de actividades:

$$¿AA + ANA = m?$$

$$¿2 + 2 = 9? \rightarrow \text{no, entonces:}$$

Regresar hacia B

Generar número aleatorio:

$$r_i = 2$$

Verificar si la actividad 2 está contenida en el vector de las actividades asignadas:

$$¿r_i \in V_{sig}?$$

$$¿2 \in V_{sig}? \rightarrow \text{si, entonces}$$

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$$r_i = 4$$

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 4 a la estación 1:

$$¿\text{se cumple las precedencias?} \rightarrow \text{si, entonces:}$$

Se incrementa el tiempo de la estación 1:

$$Tacum(1) = Tacum(1) + T(4) = 8 + 8 = 16$$

Verificar si tiempo acumulado de la actividad 1 es menor o igual al tiempo de ciclo:

$$¿Tacum(1) \leq 18,46? \rightarrow \text{si, entonces:}$$

Estación 1:

Actividades: 2,1,4

Tiempo (min) 3,5,8

Tiempo acumulado (min) = 16

Almacenar la actividad 4 al vector de actividades asignadas

$V_{asig} = (2, 1, 4, 0, 0, 0, 0, 0)$

Incrementar el contador de actividades asignadas:

$AA = AA + 1 = 2 + 1 = 3$

Verificar si las actividades asignadas son igual a las actividades del proceso m

$\text{¿}AA = m?$

$\text{¿}3 = 9? \rightarrow$ no, entonces:

Regresar hacia B

Generar número aleatorio:

$r_i = 6$

Verificar si la actividad 6 está almacenada en el vector de actividades asignadas:

$\text{¿}6 \in V_{asig}? \rightarrow$ no,

Verificar si se cumple las precedencias para asignar la actividad 6 a la estación 1

$\text{¿se cumple las precedencias?} \rightarrow$ no, entonces

Almacenar la actividad 6 en el vector de actividades no asignadas:

$V_{ana} = (5, 6, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$

Incrementar el contador de actividades no asignadas:

$ANA = ANA + 1 = 2 + 1 = 3$

Verificar si la cantidad de actividades asignadas más la cantidad de actividades no asignadas es igual a la cantidad de actividades del proceso de ensamble

$\text{¿}AA + ANA = m?$

¿ $3 + 3 = 9$? → no, entonces:

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$$r_i = 5$$

Verificar si la actividad 5 está almacenada en el vector de actividades asignadas

¿ $5 \in V_{sig}$? → no,

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 5 en la estación 1

¿se cumple con las precedencias? → si, entonces:

Incrementar el tiempo acumulado de la estación 1:

$$Tacum(1) = Tacum(1) + T(5) = 16 + 10 = 26$$

Verificar si el tiempo acumulado en la estación 1 es menor o igual al tiempo de ciclo teórico C:

$$¿Tacum(1) \leq C?$$

¿ $26 \leq 18,46$? → no, entonces:

Restar el tiempo de la actividad 6 a la estación 1:

$$Tacum(1) = Tacum(1) - T(6) = 26 - 10 + 16$$

Verificar si la actividad 6 está almacenada en el vector de actividades no asignadas:

¿ $r_i \in V_{ana}$? → si, entonces:

Verificar si la cantidad de actividades asignadas más la cantidad de actividades no asignadas es igual a la cantidad de actividades del proceso de ensamble:

$$AA + ANA = m$$

¿ $3 + 3 = 9$? No, entonces

Regresar hacia B

Generar número aleatorio:

$$r_i = 3$$

Verificar si la actividad 3 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$$3 \in V_{sig} \rightarrow \text{no},$$

Verificar si cumple con las precedencias para asignar la actividad 3 en la estación 1:

$$\text{¿se cumple con las precedencias?} \rightarrow \text{si, entonces:}$$

Incrementar el tiempo acumulado de la estación 1:

$$T_{acum}(1) = T_{acum}(1) + T(3) = 16 + 6 = 22$$

Verificar si el tiempo acumulado en la estación 1 es menor o igual al tiempo de ciclo teórico C:

$$T_{acum}(1) \leq C?$$

$$22 \leq 18,46? \rightarrow \text{no, entonces:}$$

Restar el tiempo de la actividad 3 a la estación 1:

$$T_{acum}(1) = T_{acum}(1) - T(3) = 22 - 6 = 16$$

Verificar si la actividad 3 está almacenada en el vector de actividades no asignadas:

$$3 \in V_{ana} \rightarrow \text{no, entonces:}$$

Almacenar la actividad 3 en el vector de actividades no asignadas

$$V_{ana} = (5, 7, 6, 3, 0, 0, 0, 0)$$

Incrementar el contador de actividades no asignadas:

$$A_{na} = A_{na} + 1 = 3 + 1 = 4$$

Verificar si la cantidad de actividades asignadas más la cantidad de actividades no asignadas es igual a la cantidad de actividades del proceso de ensamble

$$¿AA + ANA = m?$$

$$¿4 + 3 = 9? \text{ No, entonces}$$

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$$r_i = 8$$

Verificar si la actividad 8 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$$¿8 \in V_{sig}? \rightarrow \text{no,}$$

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 8 a la estación 1:

$$¿\text{se cumple con las precedencias?} \rightarrow \text{no, entonces:}$$

Almacenar la actividad 8 en el vector de actividades no asignadas:

$$V_{ana} = (5, 7, 6, 3, 8, 0, 0, 0, 0)$$

Incrementar el contador de actividades no asignadas:

$$ANA = ANA + 1 = 4 + 1 = 5$$

Verificar si la cantidad de actividades asignadas más la cantidad de actividades no asignadas es igual a la cantidad de actividades del proceso de ensamble

$$¿AA + ANA = m?$$

$$¿5 + 3 = 9? \text{ No, entonces}$$

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$$r_i = 1$$

Verificar si la actividad 1 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$1 \in V_{sig} \rightarrow$ si, entonces

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$r_i = 6$

Verificar si la actividad 6 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$6 \in V_{sig} \rightarrow$ si, entonces

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$r_i = 7$

Verificar si la actividad 7 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$7 \in V_{sig} \rightarrow$ no

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 7 a la estación 1:

$\rightarrow$ se cumple con las precedencias? $\rightarrow$ no

Verificar si la actividad 7 está almacenada en el vector de actividades no asignadas:

$7 \in V_{ana} \rightarrow$ si, entonces

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$r_i = 2$

Verificar si la actividad 2 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$2 \in V_{sig} \rightarrow$ si, entonces

Regresar hacia B,

Generar número aleatorio

$$r_i = 9$$

Verificar si la actividad 9 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$$9 \in V_{sig} \rightarrow \text{no}$$

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 9 a la estación 1:

$$\text{¿se cumple con las precedencias? No} \rightarrow \text{entonces}$$

Asignar la actividad 9 al vector de actividades no asignadas

$$V_{ana} = (5, 7, 6, 3, 8, 9, 0, 0, 0)$$

Incrementar el contador de actividades no asignadas

$$ANA = ANA + 1$$

$$ANA = 5 + 1 = 6$$

Verificar si las actividades asignadas más las actividades no asignadas es igual a “m”

$$3 + 6 = 9? \rightarrow \text{si entonces}$$

Regresar hacia A

$$j = j + 1 = 1 + 1 = 2$$

$$T_{acum}(2) = 0$$

$$V_{ana} = 0$$

$$V_{ana} = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$$

Generar número aleatorio:

$$r_i = 2$$

Verificar si la actividad 2 pertenece al vector de actividades asignadas

¿ $2 \in \text{Vasig}$? $\rightarrow$ si, entonces

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$r_i=3$

Verificar si la actividad 3 pertenece al vector de actividades asignadas

¿ $3 \in \text{Vasig}$? $\rightarrow$ no,

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 3 a la estación 2

¿se cumple con las precedencias? Si, ya que la actividad 3 no tiene predecesora

$\text{Tacum}(2) = \text{Tacum}(2) + T(3)$

$\text{Tacum}(2) = 0 + 6 = 6$

Verificar si el tiempo acumulado de la estación 2 es menor o igual al tiempo de ciclo teórico:

¿ $\text{Tacum}(2) \leq 18,46$? $\rightarrow$ no, entonces

Asignar la actividad 3 a la estación:

Estación 2:

Actividades: 3

Tiempo (min) = 6

Tiempo acumulado (min) = 6

Asignar la actividad 3 en el vector de actividades asignadas:

$\text{Vasig} = (2,1,4,3)$

Incrementar el contador de actividades asignadas

$$AA = AA + 1$$

$$AA = 3 + 1 = 4$$

Verificar si la cantidad de actividades asignadas es igual a m:

$$¿AA = m?$$

$$¿4 = 9? \rightarrow \text{no, entonces}$$

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$$r_i = 6$$

Verificar si la actividad 6 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$$¿6 \in V_{sig}? \rightarrow \text{no, entonces}$$

Verificar si se cumplen las precedencias para asignar la actividad 6 en la estación 2

¿se cumple con las precedencias? No porque aún no se ha asignado la actividad 5.

Verificar si la actividad 6 está almacenada en el vector de actividades no asignadas

$$¿6 \in V_{ana}? \rightarrow \text{no, entonces}$$

Asignar la actividad 6 al vector de actividades no asignadas

$$V_{ana} = (6, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$$

Incrementar el contador de actividades no asignadas

$$ANA = ANA + 1$$

$$ANA = 0 + 1 = 1$$

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$$r_i = 5$$

Verificar si la actividad 5 está almacenada en el vector de actividades asignadas

¿ $5 \in V_{sig}$? $\rightarrow$ no, entonces

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 5 en la estación 2:

¿se cumple con las precedencias? Si, ya que previamente se ha asignado la actividad 2 que precede a la actividad 5.

Incrementar el tiempo acumulado de la estación 2

$$Tacum(2) = Tacum(2) + T(5)$$

$$Tacum(2) = 6 + 10 = 16$$

Verificar si el tiempo acumulado de la estación 2 es menor o igual al tiempo de ciclo teórico:

¿ $Tacum(2) \leq C$? $\rightarrow$ si, entonces

Asignar la actividad 5 a la estación 2

Estación 2:

Actividades: 3,5

Tiempo (min) = 6,10

Tiempo acumulado (min) = 16

Asignar la actividad 5 al vector de actividades asignadas

$$V = (2,1,4,3,5)$$

Incrementar el contador de actividades asignadas

$$AA = AA + 1$$

$$AA = 4 + 1 = 5$$

Verificar si la cantidad de actividades asignadas es igual a m

$$¿AA = m?$$

$$¿5=9?, \text{ no } \rightarrow \text{ entonces}$$

Regresar a B

Generar número aleatorio

$$r_i = 6$$

Verificar si la actividad 6 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$$¿6 \in V_{sig}? \rightarrow \text{no}$$

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 6 a la estación 2

¿se cumple con las precedencias? Si ya que la actividad 5 fue previamente asignada

Incrementar el tiempo acumulado de la estación 2:

$$Tacum(2) = Tacum(2) + T(6)$$

$$Tacum(2) = 16 + 7 = 23$$

Verificar si el tiempo acumulado de la estación 2 es menor o igual al tiempo de ciclo

teórico:

$$¿Tacum(2) \leq C?$$

$$¿23 \leq 18,46? \rightarrow \text{no, entonces}$$

Verificar si la actividad 6 está almacenada en el vector de actividades no asignadas

$$¿6 \in V_{ana}? \rightarrow \text{si, entonces}$$

Verificar si el módulo de la resta de la cantidad de actividades asignadas menos la cantidad de actividades no asignadas es igual a m:

$$\text{¿} | AA - ANA | = m?$$

$$\text{¿} | 5-1 | = 9? \rightarrow \text{no, entonces}$$

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$$r_i = 3$$

Verificar si la actividad 3 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$$\text{¿} 3 \in V_{sig}? \rightarrow \text{si, entonces}$$

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$$r_i = 9$$

Verificar si la actividad 9 está almacenada en el vector de actividades asignadas:

$$\text{¿} 9 \in V_{sig}? \rightarrow \text{no, entonces}$$

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 9 en la estación 2:

$$\text{¿cumple con las precedencias?} \rightarrow \text{no, entonces}$$

Asignar la actividad 9 en el vector de actividades no asignadas:

$$V_{ana} = (6,9)$$

Incrementar el contador de actividades no asignadas:

$$ANA = ANA + 1$$

$$ANA = 1 + 1 = 2$$

Verificar si la cantidad de actividades no asignadas más la cantidad de actividades asignadas es igual al total de actividades del proceso de ensamble (m):

$$\text{¿ANA} + \text{AA} = m?$$

$$\text{¿}2 + 5 = 9? \rightarrow \text{no, entonces}$$

Regresar a B

Generar número aleatorio

$$r_i = 7$$

Verificar si la actividad 7 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$$\text{¿}7 \in V_{\text{sig}}? \rightarrow \text{no, entonces}$$

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 7 en la estación 2:

$$\text{¿se cumple con las precedencias?} \rightarrow \text{no, entonces}$$

Verificar si la actividad 7 está almacenada en el vector de actividades no asignadas

$$\text{¿}7 \in V_{\text{na}}? \rightarrow \text{no, entonces}$$

Asignar la actividad 7 al vector de actividades no asignadas:

$$V_{\text{na}} = (6, 9, 7)$$

Incrementar el contador de las actividades no asignadas:

$$\text{ANA} = \text{ANA} + 1$$

$$\text{ANA} = 2 + 1 = 3$$

Verificar si la suma de la cantidad de las actividades no asignadas más la cantidad de las actividades asignadas es igual a la cantidad de actividades del proceso de ensamble (m):

$$\text{¿ANA} + \text{AA} = m?$$

$$\text{¿}3 + 5 = 9? \rightarrow \text{no, entonces:}$$

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$$r_i = 6$$

Verificar si la actividad 6 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$$\text{¿}6 \in V_{\text{sig}}? \rightarrow \text{no, entonces}$$

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 6 en la estación

2:

¿se cumple con las precedencias? Si, ya que la actividad 5 ya que encuentra asignada previamente.

Se incrementa el tiempo acumulado en la estación 2:

$$T_{\text{acum}}(2) = T_{\text{acum}}(2) + T(6)$$

$$T_{\text{acum}}(2) = 16 + 7 = 23$$

Verificar si el tiempo acumulado en la estación 2 es igual o menor al tiempo de ciclo teórico:

$$\text{¿}T_{\text{acum}}(2) \leq C?$$

$$\text{¿}23 \leq 18,46? \rightarrow \text{no, entonces}$$

Se resta el tiempo de la actividad 6 al tiempo acumulado de la estación 2

$$T_{\text{acum}}(2) = T_{\text{acum}}(2) - T(6)$$

$$T_{\text{acum}}(2) = 23 - 7 = 16$$

Verificar si la actividad 6 está almacenada en el vector de actividades no asignadas

¿ $6 \in V_{ana}$? $\rightarrow$ si, entonces

Verificar si el módulo de la diferencia entre la cantidad de actividades no asignadas y la cantidad de las actividades asignadas es igual a la cantidad de actividades del proceso de ensamble

¿ $|ANA - AA| = m$?

¿ $|3-5| = 9$? $\rightarrow$ no, entonces

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$r_i = 8$

Verificar si la actividad 8 está almacenada en el vector de actividades asignadas:

¿ $8 \in V_{asig}$? $\rightarrow$ no, entonces

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 8 a la estación 2:

¿cumple con las precedencias? $\rightarrow$ no, entonces

Verificar si la actividad 8 está almacenada en el vector de las actividades no asignadas

¿ $8 \in V_{ana}$? $\rightarrow$ no, entonces:

$V_{ana} = (6,9,7,8)$

Incrementar el contador de las actividades no asignadas

$ANA = ANA + 1$

$ANA = 3 + 1 = 4$

Verificar si la cantidad de las actividades no asignadas más la cantidad de las actividades asignadas es igual a la cantidad de las actividades del proceso de ensamble:

$$¿ANA + AA = m?$$

$$¿4+5=9? \rightarrow \text{si, entonces}$$

Regresar hacia A

$$j = j + 1 = 1+1 = 3$$

$$\text{Tacum}(3) = 0$$

$$\text{Vana} = 0$$

$$\text{Vana} = (0,0,0,0,0,0,0,0,0)$$

Generar número aleatorio

$$r_i = 3$$

Verificar si la actividad 3 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$$¿3 \in \text{Vasig?} \rightarrow \text{si, entonces}$$

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$$r_i = 6$$

Verificar si la actividad 6 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$$¿6 \in \text{Vasig?} \rightarrow \text{no, entonces}$$

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 6 en la estación 3

$$¿\text{se cumple con las precedencias?} \rightarrow \text{si, entonces}$$

Incrementar el tiempo acumulado de la estación 3:

$$Tacum(3) = Tacum(3) + T(6)$$

$$Tacum(3) = 0 + 7 = 7$$

Verificar si el tiempo acumulado de la estación 3 es menor o igual al tiempo de ciclo teórico C:

$$¿Tacum(3) \leq C?$$

$$¿7 \leq 18,46? \rightarrow \text{si, entonces}$$

Se asigna la actividad 7 en la estación 3:

Estación 3:

Actividades: 6

Tiempo (min) = 7

Tiempo acumulado (min) = 7

Asignar la actividad 6 en el vector de actividades asignadas:

$$Vasig = (2,1,4,3,5,6)$$

Incrementar el contador de actividades asignadas:

$$AA = AA + 1$$

$$AA = 5 + 1 = 6$$

Verificar si la cantidad de actividades asignadas es igual a la cantidad de actividades del proceso de ensamble (m):

$$¿AA = m?$$

$$¿6=9? \rightarrow \text{no, entonces:}$$

Regresar hacia B

Generar número aleatorio:

$$r_i = 2$$

Verificar si la actividad 2 está almacenada en el vector de actividades asignadas

$2 \in V_{sig}$? $\rightarrow$ si, entonces

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$$r_i = 9$$

Verificar si la actividad 9 está almacenada en el vector de actividades asignadas:

$9 \in V_{sig}$? $\rightarrow$ no, entonces:

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 9 en la estación 3:

$\rightarrow$ ¿se cumple con las precedencias? $\rightarrow$ no, porque aún no se ha asignado

la actividad 8, entonces

Verificar si la actividad 9 está almacenada en el vector de actividades no asignadas:

$9 \in V_{ana}$? $\rightarrow$ no, entonces

Asignar la actividad 9 al vector de actividades no asignadas

$$V_{ana} = (9)$$

Incrementar la cantidad de actividad no asignadas:

$$ANA = ANA + 1$$

$$ANA = 0 + 1 = 1$$

Verificar si la cantidad de actividades no asignadas más la cantidad de actividades asignadas es igual a la cantidad de actividades del proceso de ensamble

$$\text{¿ANA} + \text{AA} = m?$$

$$\text{¿}1 + 6 = 9? \rightarrow \text{no, entonces}$$

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$$r_i = 7$$

Verificar si la actividad 7 está almacenada en el vector de actividades asignadas:

$$\text{¿}7 \in V_{\text{asig}}? \rightarrow \text{no, entonces:}$$

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 7 a la estación 3:

¿se cumple con las precedencias? $\rightarrow$ si, ya que se encuentran asignadas las actividades que preceden a la actividad 7, es decir, la 3,4 y 6.

Se incrementa el tiempo acumulado de la estación 3:

$$T_{\text{acum}}(3) = T_{\text{acum}}(3) + T(7)$$

$$T_{\text{acum}}(3) = 7 + 1 = 8$$

Verificar si el tiempo acumulado de la estación 3 es menor o igual al tiempo de ciclo teórico:

$$\text{¿}T_{\text{acum}}(3) \leq 18,46? \rightarrow \text{si, entonces:}$$

Asignar la actividad 7 a la estación 3:

Estación 3:

Actividades = 6,7

Tiempo (min) = 7,1

Tiempo acumulado (min) = 8

Asignar la actividad 7 al vector de actividades asignadas:

$V_{sig} = (2,1,4,3,5,6,7)$

Incrementar el contador de actividades asignadas:

$AA = AA + 1$

$AA = 6 + 1 = 7$

Verificar si la cantidad de actividades asignadas es igual a la cantidad de actividades del proceso de ensamble (m):

¿ $AA = m$? $\rightarrow$ no, entonces

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$r_i = 1$

Verificar si la actividad 1 está almacenada en el vector de actividades asignadas:

¿ $1 \in V_{sig}$? $\rightarrow$ si, entonces,

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

$r_i = 5$

Verificar si la actividad 5 está almacenada en el vector de actividades asignadas:

¿ $5 \in V_{sig}$? $\rightarrow$ si, entonces

Generar número aleatorio

$r_i = 8$

Verificar si la actividad 8 está almacenada en el vector de actividades asignadas:

¿ $8 \in V_{sig}$? $\rightarrow$ no, entonces

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 8 en la estación 3:

¿se cumple con las precedencias? Si, ya que se encuentra asignada la actividad 7 que es la que precede a la actividad 8.

Se incrementa el tiempo acumulado de la estación 3:

$$Tacum(3) = Tacum(3) + T(8)$$

$$Tacum(3) = 8 + 5 = 13$$

Verificar si el tiempo acumulado de la actividad 3 es menor o igual al tiempo de ciclo teórico:

¿ $Tacum(3) \leq 18,46$? $\rightarrow$ si, entonces:

Estación 3:

Actividades: 6,7,8.

Tiempo (min) = 7,1,5

Tiempo acumulado (min) = 13

Asignar la actividad 8 al vector de actividades asignadas:

$$V_{sig} = (2,1,4,3,5,6,7,8)$$

Incrementar el contador de actividades asignadas:

$$AA = AA + 1$$

$$AA = 7 + 1 = 8$$

Verificar si la cantidad de actividades asignadas es igual a la cantidad de actividades del proceso de ensamble (m):

¿AA = m?

¿8 = 9? → no, entonces

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

ri=7

Verificar si la actividad 7 está almacenada en el vector de asignaciones

¿7 ∈ Vasig? → si, entonces

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

ri=4

Verificar si la actividad 4 está almacenada en el vector de actividades asignadas

¿4 ∈ Vasig? → si, entonces

Regresar hacia B

Generar número aleatorio

ri= 9

Verificar si la actividad 9 está almacenada en el vector de actividades asignadas:

¿9 ∈ Vasig? → no, entonces

Verificar si se cumple con las precedencias para asignar la actividad 9 a la estación 3:

¿Se cumple las precedencias? → si, ya que está asignada la actividad 8 que es la actividad que precede la actividad 9.

Incrementar el tiempo acumulado de la estación 3:

$Tacum(3) = Tacum(3) + T(9)$

$$T_{\text{acum}}(3) = 13 + 3 = 16$$

Verificar si el tiempo acumulado de la estación 3 es menor o igual al tiempo de ciclo teórico:

$$¿T_{\text{acum}}(3) \leq 18,46? \text{ Si, entonces}$$

Asignar la actividad 9 a la estación 3:

Estación 3:

Actividades: 6, 7, 8, 9

Tiempo (min) = 7,1,5,3

Tiempo acumulado (min) = 16

Asignar la actividad 9 al vector de actividades asignadas:

$$V_{\text{asig}} = (2,1,4,3,5,6,7,8,9)$$

Incrementar el contador de actividades asignadas:

$$AA = AA + 1$$

$$AA = 8 + 1 = 9$$

Verificar si la cantidad de actividades asignadas es igual a la cantidad de actividades del proceso de ensamble

$$¿AA = m? \text{ si, entonces:}$$

Ir hacia D-

Calcular el Tiempo de ciclo real de la solución 1:

$TCR(S1) = \text{Máximo valor asignado en las estaciones de la solución 1, en este caso el valor máximo asignado es de 16 minutos.}$

Calcular el Tiempo de Ocio de la solución 1:

$$TO = \sum_{j=1}^k (TCR - Tk_j)$$

$$TO = (16-16) + (16-16) + (16-16) = 0$$

Incrementar el número de soluciones:

$$NS = NS + 1 = 0 + 1 = 1$$

Se almacena la solución generada, para ello se utiliza una tabla como la presentada a continuación:

Resultados de la solución 1 generada por el Método BLEER

Solución 1	Estación	Tarea	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Tiempo asignado en la estación (s)	Tiempo acumu- lado en la estación (s)
	1	1,2,4	5,3,8	300,180,480	960	960
	2	3,5	6,10	360,600	960	1920
	3	6,7,8,9	7,1,5,3	420,60,300,180	960	2880

Se verifica si el número de soluciones es igual número máximo de soluciones MAXS

$$¿NS = MAXS?$$

$$¿1 = 1? \rightarrow \text{Si entonces ir a F}$$

Luego de obtener las posibles soluciones del balance de líneas, se comienza a trabajar con el balance ergonómico, para ello se requiere solicitar los datos de entrada, específicamente los valores que resultaron de la aplicación del método REBA a cada una de las actividades que componen la línea de ensamble. Para continuar con el ejemplo a fines ilustrativo, se explica esta etapa con la solución obtenida anteriormente.

Solicitar datos de entrada:

Matriz de soluciones del balance de líneas (las soluciones que genera el algoritmo).

Valores del REBA por actividad y por estación de trabajo según el resultado del balance anterior, lo cual puede observarse en la siguiente tabla.

Datos del balance de líneas de ensamble y del riesgo biomecánico asociado según el método REBA.

Estación	Tarea	Tronco	Cuello	Piernas	Brazo	Antebrazo	Muñeca	Fuerza/ Carga	Acople
1	1	2	2	1	2	1	2	0	1
	2	4	2	1	3	1	2	0	1
	4	3	2	1	2	2	1	0	1
2	3	3	2	2	2	1	1	0	1
	5	1	1	2	2	2	1	0	1
3	6	2	2	2	2	1	1	1	1
	7	1	2	1	2	2	1	1	1
	8	2	3	1	2	2	1	0	1
	9	1	1	2	1	2	1	0	1

Calcular los valores del riesgo biomecánico corregido por el tiempo para cada una de las actividades, es decir, aplicar el método de Evaluación Multitarea de Carga Física, expresados en la tabla que se muestra a continuación:

Datos de Tiempo de cada una de las tareas y riesgo biomecánico asociado según el método REBA.

Estación	Tiempo (s)	Tarea	Tronco	Cuello	Piernas	Brazo	Antebrazo	Muñeca	Fuerza/Carga	Acople
1	300	1	2	2	1	2	1	2	0	1
	180	2	4	2	1	3	1	2	0	1
	480	4	3	2	1	2	2	1	0	1
2	360	3	3	2	2	2	1	1	0	1
	600	5	1	1	2	2	2	1	0	1
3	420	6	2	2	2	2	1	1	1	1
	60	7	1	2	1	2	2	1	1	1
	300	8	2	3	1	2	2	1	0	1
	180	9	1	1	2	1	2	1	0	1

Con estos valores se procede a calcular los valores medios ponderados de la siguiente manera:

Se debe sumar la columna de tiempo de duración de cada actividad por estación de trabajo como se observa en la tabla siguiente:

Resultados de la suma de los tiempos por estación y del riesgo

biomecánico de cada actividad

Estación	Tiempo (s)	Tarea	Tronco	Cuello	Piernas	Brazo	Antebrazo	Muñeca	Fuerza/Carga	Acople
1	300	1	2	2	1	2	1	2	0	1
	180	2	4	2	1	3	1	2	0	1
	480	4	3	2	1	2	2	1	0	1
Suma	960									
2	360	3	3	2	2	2	1	1	0	1
	600	5	1	1	2	2	2	1	0	1
Suma	960									
3	420	6	2	2	2	2	1	1	1	1
	60	7	1	2	1	2	2	1	1	1
	300	8	2	3	1	2	2	1	0	1
	180	9	1	1	2	1	2	1	0	1
Suma	960									

Ahora bien, para obtener los valores corregidos del riesgo REBA por efecto del tiempo de duración de la tarea se debe multiplicar el valor de la duración de la tarea por cada valor de riesgo REBA asociado a la tarea que se evalúa, por ejemplo:

La tarea 1:

Tiempo (s) = 300

Valor REBA para el tronco es de 2 entonces el valor corregido del tronco se calcula como $\text{Tiempo} \times \text{Valor REBA} = 300 \times 2 = 600$ y así se obtienen todos los demás valores de cuello, rodilla, brazo, antebrazo y muñeca, y para los valores asociados al peso y al acople.

Luego de tener todos los valores corregidos para cada una de las actividades distribuidas por estaciones de trabajo, se procede a calcular el valor medio ponderado que no es más que un nuevo valor REBA medio ponderado a través de los valores iniciales REBA pero corregido por el tiempo de duración de las tareas involucradas en el proceso de ensamble.

Para calcular los valores medios ponderados se procede de la siguiente manera, por ejemplo para el valor medio ponderado corregido del tronco en la estación 1 del ejemplo se debe calcular los valores corregidos asociados a las actividades involucradas en la estación 1 esto es:

Las tareas asignadas a la estación 1 son: 1,2,4 entonces,

Valor tronco corregido tarea 1: $\text{Tiempo} \times \text{valor REBA tronco} = 300 \times 2 = 600$

Valor tronco corregido tarea 2: $\text{Tiempo} \times \text{valor REBA tronco} = 180 \times 4 = 720$

Valor tronco corregido tarea 4: $\text{Tiempo} \times \text{valor REBA tronco} = 480 \times 3 = 1440$

Seguidamente, se calcula el valor de tronco corregido asociado a la estación 1 sumando los valores corregidos del tronco de cada una de las tareas asignadas a la estación 1, y la sumatoria se divide entre la sumatoria del tiempo de cada una de las tareas asignadas a la estación 1, en este caso:

Sumatoria de los valores corregidos de tronco (estación 1):

$$600+720+1440 = 2.760$$

Sumatoria del tiempo de las tareas de la estación 1:

$$300+180+480 = 960$$

Se divide entonces $2760 / 960 = 2,875$, se ajusta por exceso a 3 para obtener un valor entero como lo expresa el método: “Para encontrar los valores en las tablas usaremos un ajuste por exceso (en caso de que el decimal sea mayor que 5) o por defecto (en caso de que el decimal sea menor que 5) ya que necesitamos un valor entero”. (Idoate & Pollán, 2003). En caso en que el decimal sea igual a 5, se ajusta por exceso.

De la misma manera se procede con los demás valores de las zonas del cuerpo comprometidas en la ejecución de las actividades, los resultados de los cálculos para obtener los demás valores para la solución 1 del ejemplo generada por el algoritmo se muestran a continuación:

Resultados de la aplicación del método Evaluación Multitarea de Carga Física

Solución 1.

Solución 1			Valores REBA								Evaluación Multitarea de Carga Física							
Estación	Actividad	Tiempo en segundos	Valor tronco	Valor cuello	Valor piernas	Valor peso	Valor brazo	Valor antebrazo	Valor muñeca	Vacople	Valor tronco corregido	Valor cuello corregido	Valor rodilla corregido	Valor peso corregido	Valor brazo corregido	Valor antebrazo corregido	Valor muñeca corregido	Valor de acoplamiento corregido
I																		
	1	300	2	2	1	0	2	1	2	1	600	600	300	0	600	300	600	300
	2	180	4	2	1	0	3	1	2	1	720	360	180	0	540	180	360	180
	4	480	3	2	1	0	2	2	2	1	1440	960	480	0	960	960	960	480
Suma		960									2760	1920	960	0	2100	1440	1920	960
Valores medios ponderados											3	2	1	0	2	2	2	1
II																		
	3	360	3	2	2	0	2	2	1	1	1080	720	720	0	720	720	360	360
	5	600	1	1	2	0	2	2	1	1	600	600	1200	0	1200	1200	600	600
Suma		960									1680	1320	1920	0	1920	1920	960	960
Valores medios ponderados											2	1	2	0	2	2	1	1
III																		
	6	420	2	2	2	1	3	2	1	1	840	840	840	420	1260	840	420	420
	7	60	1	2	1	1	2	2	2	1	60	120	60	60	120	120	120	60
	8	300	2	3	1	0	2	2	2	1	600	900	300	0	600	600	600	300
	9	180	1	1	2	0	2	1	2	1	180	180	360	0	360	180	360	180
Suma		960									1680	960	900	0	1380	960	540	960
Valores medios ponderados											2	1	1	0	1	1	1	1

Una vez calculados todos los valores medios ponderados de riesgo corregidos por el factor tiempo de cada una de las actividades se procede a calcular el nuevo valor REBA de la siguiente manera: ingresar a la tabla A del REBA con los valores medios ponderados para la estación 1, para el tronco, cuello y piernas y obtener el valor de la tabla A, mostrada a continuación:

Tabla A Método REBA

TABLA A		Tronco				
Cuello	Piernas	1	2	3	4	5
1	1	1	2	2	3	4
	2	2	3	4	5	6
	3	3	4	5	6	7
	4	4	5	6	7	8
2	1	1	3	4	5	6
	2	2	4	5	6	7
	3	3	5	6	7	8
	4	4	6	7	8	9
3	1	3	4	5	6	7
	2	3	5	6	7	8
	3	5	6	7	8	9
	4	6	7	8	9	9

Calcular la Puntuación A= Valor de la Tabla A + Valor corregido de fuerza o carga

Valor de la Tabla A = 4

Puntuación A = 4 + 0 = 4.

Ingresar a la tabla B con los valores corregidos para brazo, antebrazo y muñeca (valores ponderados) de la estación 1 y obtener el valor de la tabla B como se muestra seguidamente:

TABLA B Método REBA

TABLA B		Brazos					
Antebrazos	Muñecas	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	3	4	6	7
	2	2	2	4	5	7	8
	3	2	3	5	5	8	8
2	1	1	2	4	5	7	8
	2	2	3	5	6	8	9
	3	3	4	5	7	8	9

Calcular la Puntuación B = Valor de la Tabla B + Valor corregido del acople

Valor de la Tabla B = 3

Puntuación B = 3 + 0

Ingresar a la tabla C con los valores de la Puntuación A y la Puntuación B para obtener el valor de la puntuación, esto se ilustra en la siguiente tabla.

Tabla C Método REBA.

TABLA C		PUNTUACION A											
PUNTUACION B		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1	1	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12
	2	1	2	3	4	4	6	7	8	9	10	11	12
	3	1	2	3	4	4	6	7	8	9	10	11	12
	4	2	3	3	4	5	7	8	9	10	11	11	12
	5	3	4	4	5	6	8	9	10	10	11	12	12
	6	3	4	5	6	7	8	9	10	10	11	12	12
	7	4	5	6	7	8	9	9	10	11	11	12	12
	8	5	6	7	8	8	9	10	10	11	12	12	12
	9	6	6	7	8	9	10	10	10	11	12	12	12
	10	7	7	8	9	9	10	11	11	12	12	12	12
	11	7	7	8	9	9	10	11	11	12	12	12	12
	12	7	8	8	9	9	10	11	11	12	12	12	12

Puntuación C = 4

Almacenar el valor REBA de la estación 1 de la solución 1

Incrementar el contador de número de estaciones NE

$$NE = NE + 1$$

$$NE = 0 + 1 = 1$$

Verificar si la cantidad de estaciones es igual al número de estaciones calculado k

¿NE = k? si, no entonces

Regresar hacia H a calcular los valores REBA para las demás estaciones de la solución 1.

Supóngase que se repite el procedimiento y los valores del REBA calculados son los siguientes

Valores REBA para la solución 1

Solución	Estación	Nuevo Valor REBA
1	1	4
	2	3
	3	5

Ir a G:

Calcular el promedio REBA de la solución, cuyos resultados se observan en la tabla siguiente:

Promedio de los valores REBA para la solución 1

SOLUCIÓN 1	
ESTACIONES	REBA
1	4
2	3
3	5
Promedio REBA	4

Se calcula la función objetivo para la solución S1

$$F.O. = (0,35 * TCR + 0,15 * TO) / C + (0,5 * RB) / 15$$

$$F.O = (0,35 * 16 + 0,15 * 0) / 18,46 + (0,5 * 4)/15 = 0.4366$$

Verificar si el número de soluciones es igual al número máximo de soluciones:

¿NS = MAXS? Si, entonces:

¿1 = 1? Si, entonces

Listar las soluciones en orden creciente de los valores obtenidos en la función objetivo de cada una de ellas.

Finalizar el algoritmo.

Ahora bien, para continuar con la ilustración del funcionamiento del algoritmo del Método BLEER de forma manual, se muestra la solución 1 obtenida y descrita anteriormente, además de otra solución que se obtuvo al aplicar el algoritmo, para la solución 2 solo se muestran los resultados obtenidos, dado lo largo del procedimiento manual para la obtención de cada solución.

Soluciones Factibles del Balance de Líneas					
	Estación	Tareas	Tiempo (s)	Tasignado (s)	Tiempo Acumulado (s)
Solución 1	1	1,2,4	300,180,480	960	960
	2	3,5	360,600	960	1920
	3	6,7,8,9	420,60,300,180	960	2880
Solución 2	1	1,2,4	300,180,480	960	960
	2	5,6	600,420	1020	1980
	3	3,7,8,9	360,60,300,180	900	2880

En la tabla anterior se observa como ambas soluciones son factibles para el problema planteado. Ahora bien, continuando con el ejemplo comparativo de ambas soluciones, se muestran los resultados de la aplicación del método BLEER para ambas soluciones:

Valores obtenidos para las variables que componen la función objetivo

Solución	Tiempo de Ciclo Real (TCR) (min/unidad)	Tiempo de Ocio (T.O) (min/unidad)	Promedio REBA
1	16	0	4
2	17	3	3.33

Ahora bien la función objetivo o índice BLEER que se propuso en esta investigación es la siguiente:

$$I.BLEER = \frac{0.35 * TCR + 0.15 * TO}{C} + \frac{0.5 * RB}{15}$$

Sustituyendo los valores se tiene:

Solución 1:

$$I. BLEER (1) = \frac{0.35x (16) + 0.15 x (0)}{18,46} + \frac{0.5 (4)}{15} = 0,4366$$

$$I.BLEER (1) = 0,567$$

Solución 2:

$$I. BLEER (2) = \frac{0.35x (17) + 0.15 x (3)}{18,46} + \frac{0.5 (3,33)}{15} = 0,4576$$

En este caso como la función objetivo es de minimización, la solución 1 es la que presenta mejor desempeño en relación a los criterios considerados, es decir, la solución 1 presenta el mejor balance de líneas para el ejemplo considerando de una vez el nivel de riesgo biomecánico debido a la asignación de tareas del balance generado.

ANEXO No. 2
DIAGRAMA DE FLUJO METODO BLEER
PROGRAMA AUTOMATIZADO

ANEXO No. 3

Manual del usuario para el programa del Método BLEER

Instalación del programa automatizado: La aplicación fue desarrollada en el lenguaje VBA (*Visual Basic for Applications*) de Microsoft Excel 2013 y su compatibilidad se extiende a las versiones 2007 y 2010 de la suite Microsoft Office, se requiere un equipo de computación con Microsoft Excel en cualquiera de las versiones citadas.

Al instalar el programa y guardarlo en una ubicación dentro del computador, usted podrá tener acceso a él en cualquier momento. Para ello ingrese a Microsoft Excel y desde allí ejecute el programa como lo hace con cualquier archivo de Excel. Al abrir el programa, le aparece la primera hoja del mismo:

Hoja «Entrada»: en esta hoja, el usuario introduce los datos de entrada.

BLEER_1_dev - Microsoft Excel

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista

Calibri 11 A A Fuente Alineación Número Estilos Celdas

B10 fx 200

A B C D E F G H I J K L M N O

1 Índice BLEER

2 x TCR 0,35

3 x TO 0,15

4 x RB 0,5

Valores predeterminados

5

6 Datos generales

7 m 89

8 TP (min/día) 480

9 P (unid./día) 45

10 MAXS 200

Calcular Reiniciar

11

12 Tabla de actividades

Tarea	Tiempo (s)	Tiempo (min)	Precedida por:
1	15,00	0,25	
2	25,00	0,42	1
3	25,00	0,42	1
4	30,00	0,50	1
5	20,00	0,33	1
6	10,00	0,17	1
7	10,00	0,17	
8	120,00	2,00	6
9	55,00	0,92	8
10	30,00	0,50	9
11	125,00	2,08	10
12	20,00	0,33	11
13	20,00	0,33	7
14	20,00	0,33	12
15	25,00	0,42	13,14
16	15,00	0,25	15

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

339

340

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

410

411

412

413

414

415

416

417

418

419

420

421

422

423

424

425

426

427

428

429

430

431

432

433

434

435

436

437

438

439

440

441

442

443

444

445

446

447

448

449

450

451

452

453

454

455

456

457

458

459

460

461

462

463

464

465

466

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

483

484

485

486

487

488

489

490

491

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501

502

503

504

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

520

521

522

523

524

525

526

527

528

529

530

531

532

533

534

535

536

537

538

539

540

541

542

543

544

545

546

547

548

549

550

551

552

553

554

555

556

557

558

559

560

561

562

563

564

565

566

567

568

569

570

571

572

573

574

575

576

577

578

579

580

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

595

596

597

598

599

600

601

602

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613

614

615

616

617

618

619

620

621

622

623

624

625

626

627

628

629

630

631

632

633

634

635

636

637

638

639

640

641

642

643

644

645

646

647

648

649

650

651

652

653

654

655

656

657

658

659

660

661

662

663

664

665

666

667

668

669

670

671

672

673

674

675

676

677

678

679

680

681

682

683

684

685

686

687

688

689

690

691

692

693

694

695

696

697

698

699

700

701

702

703

704

705

706

707

708

709

710

711

712

713

714

715

716

717

718

719

720

721

722

723

724

725

726

727

728

729

730

731

732

733

734

735

736

737

738

739

740

741

742

743

744

745

746

747

748

749

750

751

752

753

754

755

756

757

758

759

760

761

762

763

764

765

766

767

768

769

770

771

772

773

774

775

776

777

778

779

780

781

782

783

784

785

786

787

788

789

790

791

792

793

794

795

796

797

798

799

800

801

802

803

804

805

806

807

808

809

810

811

812

813

814

815

816

817

818

819

820

821

822

823

824

825

826

827

828

829

830

831

832

833

834

835

836

837

838

839

840

841

842

843

844

845

846

847

848

849

850

851

852

853

854

855

856

857

858

859

860

861

862

863

864

865

866

867

868

869

870

871

872

873

874

875

876

877

878

879

880

881

882

883

884

885

886

887

888

889

890

891

892

893

894

895

896

897

898

899

900

901

902

903

904

905

906

907

908

909

910

911

912

913

914

915

916

917

918

919

920

921

922

923

924

925

926

927

928

929

930

931

932

933

934

935

936

937

938

939

940

941

942

943

944

945

946

947

948

949

950

951

952

953

954

955

956

957

958

959

960

961

962

963

964

965

966

967

968

969

970

971

972

973

974

975

976

977

978

979

980

981

982

983

984

985

986

987

988

989

990

991

992

993

994

995

996

997

998

999

1000

1001

1002

1003

1004

1005

1006

1007

1008

1009

1010

1011

1012

1013

1014

1015

1016

1017

1018

1019

1020

1021

1022

1023

1024

1025

1026

1027

1028

1029

1030

1031

1032

1033

1034

1035

1036

1037

1038

1039

1040

1041

1042

1043

1044

1045

1046

1047

1048

1049

1050

1051

1052

1053

1054

1055

1056

1057

1058

1059

1060

1061

1062

1063

1064

1065

1066

1067

1068

1069

1070

1071

1072

1073

1074

1075

1076

1077

1078

1079

1080

1081

1082

1083

1084

1085

1086

1087

1088

1089

1090

1091

1092

1093

1094

1095

1096

1097

1098

1099

1100

1101

1102

1103

1104

1105

1106

1107

1108

1109

1110

1111

1112

1113

1114

1115

1116

1117

1118

1119

1120

1121

1122

1123

1124

1125

1126

1127

1128

1129

1130

1131

1132

1133

1134

1135

1136

1137

1138

1139

1140

1141

1142

1143

1144

1145

1146

1147

1148

1149

1150

1151

1152

1153

1154

1155

1156

1157

1158

1159

1160

1161

1162

1163

1164

1165

1166

1167

1168

1169

1170

1171

1172

1173

1174

1175

1176

1177

1178

1179

1180

1181

1182

1183

1184

1185

1186

1187

1188

1189

1190

1191

1192

1193

1194

1195

1196

1197

1198

1199

1200

1201

1202

1203

1204

1205

1206

1207

1208

1209

1210

1211

1212

1213

1214

1215

1216

1217

1218

1219

1220

1221

1222

1223

1224

1225

1226

1227

1228

1229

1230

1231

1232

1233

1234

1235

1236

1237

1238

1239

1240

1241

1242

1243

1244

1245

1246

1247

1248

1249

1250

1251

1252

1253

1254

1255

1256

1257

1258

1259

1260

1261

1262

1263

12

2) Presione el botón de «Listo» ubicado a la derecha del recuadro de m. Esta acción despliega las tablas de entrada de datos según la cantidad de actividades introducidas, estas tablas son «Tabla de actividades» y «Valores de REBA por actividad»

3) Una vez que se han generado los renglones de las tablas mencionadas, los campos identificados con el texto «Datos generales» se habilitan, con lo cual el usuario puede ingresar la información de la producción por jornada P (*unid./día*), el tiempo disponible por jornada TP (*unid./día*) y el número máximo de soluciones deseadas $MAXS$. Los tipos de datos y los rangos de valores para los campos habilitados, son los siguientes:

$P \geq 1$, número entero positivo.

$1 \leq TP \leq 1440$, número decimal positivo.

$MAXS \geq 1$, número entero positivo.

4) De igual manera, el usuario debe completar la información de los campos correspondientes a las dos tablas, tomando en consideración lo siguiente: todos los valores en los campos de la columna «Tiempo (s)», así como todos los campos de la tabla «Valores REBA por actividad» requieren llenarse obligatoriamente.

El valor del tiempo de la actividad debe introducirse en segundos siendo Tiempo (s)>0, número entero o decimal positivo. Automáticamente el programa calcula el valor en minutos.

5) Introduzca las precedencias según las características del proceso en estudio. La precedencia relacionada con la actividad. Los campos de la columna «Precedida por:»

son opcionales, debido a que un valor no definido corresponde a una actividad sin precedencias. Además, el formato de los campos de la columna «Precedida por:» está restringido a la siguiente condición: si solo existe una precedencia, debe indicarse un número entero positivo. Si son varias actividades las que preceden, deben separarse mediante comas, p. ej. «1, 4, 5, 3» o «4, 12»; no se requiere ningún espacio entre las actividades precedentes, sin embargo, en caso de colocarlos, la aplicación puede interpretar la información correctamente.

El campo de precedencias para la actividad n.º 1 no está habilitado, debido a que la primera actividad no debe contener ninguna precedencia.

6) Introduzca la información de los datos referidos al método REBA para cada una de las actividades tomando en cuenta lo siguiente:

- Valor REBA por actividad: Es el valor REBA (por actividad) o valor de riesgo biomecánico obtenido al aplicar la metodología REBA para cada una de las articulaciones comprometidas y evaluadas por el método.
- Tronco: para la zona lumbar, es un número entero [1...5]
- Cuello: número entero [1...3]
- Piernas: número entero [1...4]
- Brazo: específicamente el hombro, es un número entero [1...5]
- Antebrazo: relativo al codo, es un número entero [1,2]

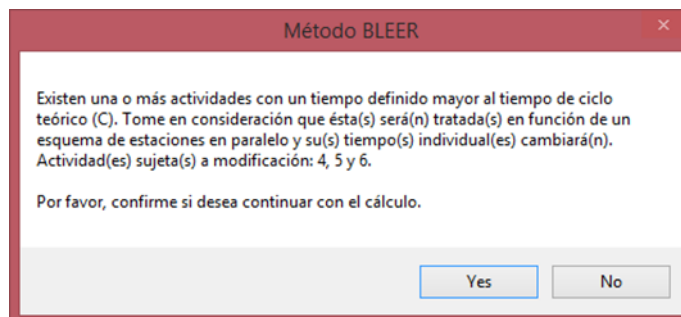
- Muñeca: número entero [1...3]
- Carga/fuerza: es una penalidad que contempla el método REBA debido al peso que debe ser manipulado o a la fuerza que debe ser aplicada en la actividad a realizar, es un número entero [0...3]
- Acople: se refiere a una penalidad por el tipo de agarre que posean los materiales involucrados en el actividad y que deben ser manipulados por el operario, es un número entero [0...3]

7) Introduzca los valores de los parámetros del índice BLEER o cargar los predeterminados. Los tres últimos campos que se pueden modificar, son los correspondientes a los pesos de las variables tiempo de ciclo real, tiempo de ocio y promedio REBA, requeridas para el cálculo del índice BLEER. Existen valores predefinidos para esta función, sin embargo, el usuario puede modificarlos de acuerdo a su propio criterio. El rango de validez y el tipo de dato admitido para estos campos es común para los tres: $0 \leq \text{Peso del índice BLEER } (\times \text{TCR}, \times \text{TO o } \times \text{RB}) \leq 1$, número decimal. En caso de que el usuario desee recuperar los valores predefinidos en la aplicación, puede hacerlo a través del botón «Cargar valores predeterminados», el cual, una vez presionado, mostrará un cuadro de diálogo solicitando al usuario confirmar la acción.

8) Al completar toda la información pulse el botón “Calcular”

Calcular

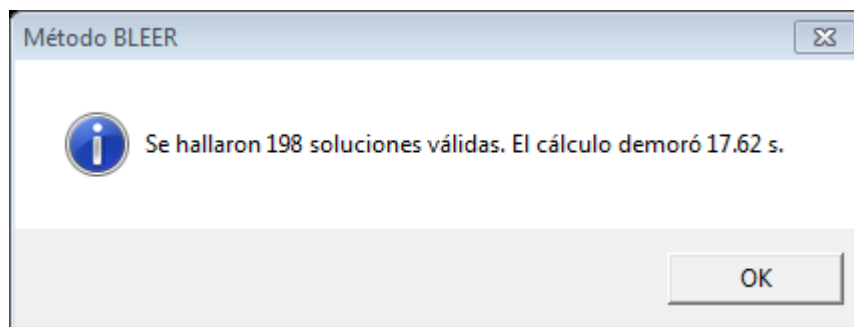
Una vez que se han completado todos los campos requeridos por la aplicación, el usuario puede presionar el botón «Calcular», para iniciar la ejecución del algoritmo del Método BLEER. Luego, la aplicación valida toda la información introducida por el usuario y en caso de que se hayan definido uno o más tiempos superiores al tiempo de ciclo teórico (C), el algoritmo advierte al usuario sobre esta condición. Además, se solicita una confirmación para continuar con el cálculo. De confirmarse la acción, la aplicación corregirá los tiempos establecidos por el usuario en la tabla de actividades y calculará el número de estaciones paralelas requeridas, para ser mostradas en la hoja «Salida». Un ejemplo del cuadro de diálogo que genera el algoritmo para advertir sobre esta situación se puede observar a continuación:



En el proceso de cálculo, es común ver el mensaje «No Responde» y/o un círculo girando que indica que está procesando la información. Si además, el usuario realiza alguna acción sobre la ventana (p. ej. hacer clic con el ratón o presionando Enter),

ésta puede adquirir una tonalidad brillante mostrando el mismo mensaje y dando la impresión de que el proceso está colgado. Es importante no detener esta operación y dar plazo a que termine el cálculo, a menos que la temperatura del CPU del equipo se eleve considerablemente. En este caso, para evitar daños en el hardware del equipo, se recomienda finalizar la aplicación Microsoft Excel desde el «Administrador de tareas» del sistema operativo.

9) El tiempo de cálculo se mostrará en un cuadro de diálogo al final de la ejecución del algoritmo y depende en gran medida del número de actividades definidas, así como de la cantidad de precedencias establecidas o no, en cada una de ellas. El cuadro de diálogo también mostrará el número de soluciones válidas y diferentes encontradas.

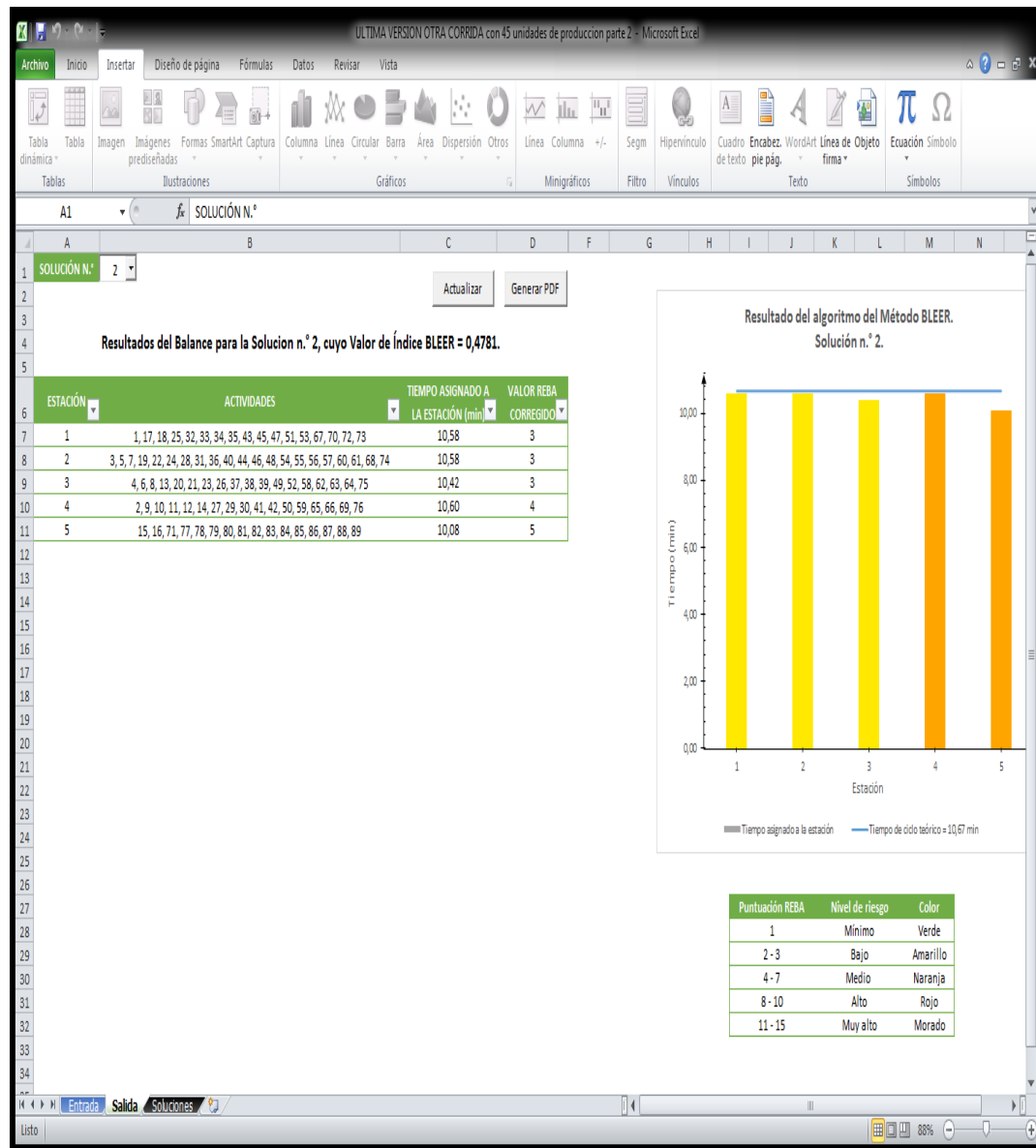


Finalmente, el botón «¡Listo!» cambia de nombre a «Reiniciar» después de que el usuario lo ha presionado. Si se presiona ahora el botón «Reiniciar», se muestra un cuadro de diálogo que requiere confirmar la acción, pues esta operación elimina la información de todos los campos de la hoja (no afecta los valores del índice BLEER)

y elimina todas las soluciones encontradas por el algoritmo, en el último cálculo realizado. El propósito del botón «Reiniciar» es preparar el formato de entrada para una nueva línea.

HOJA DE SALIDA: Esta hoja presenta en un formato adecuado, la información de cada solución obtenida por el Método BLEER. El usuario escoge la solución que desea visualizar a través de un cuadro combinado. Los resultados se ordenan en forma ascendente, respecto al Índice BLEER calculado para cada solución; el usuario puede moverse a través de las soluciones utilizando el ratón o las flechas de desplazamiento del teclado. Además, el cuadro combinado admite el uso de las teclas «Av. Pág» y «Re. Pág», que resultan de utilidad para avanzar o retroceder de forma más rápida a través de las soluciones.

10) En la hoja de “salida”, se observa la solución con menor valor de índice BLEER, es decir, la mejor solución obtenida. El algoritmo muestra una tabla donde se despliega las estaciones de la solución y las actividades asignadas en cada estación, también se muestra el tiempo asignado en la estación y el valor REBA corregido por cada estación. Se muestra además el gráfico donde se observa el balance de líneas generado así como el riesgo biomecánico a través de colores asignados en la escala REBA.



En la parte superior izquierda de la hoja de “Salida” se encuentra la ventana de solución, en esta opción se puede seleccionar cualquiera de las soluciones factibles generadas por el algoritmo, para escoger otra solución se posiciona el cursor en la flecha para desplegar las opciones y se escoge la que se desee consultar. Al

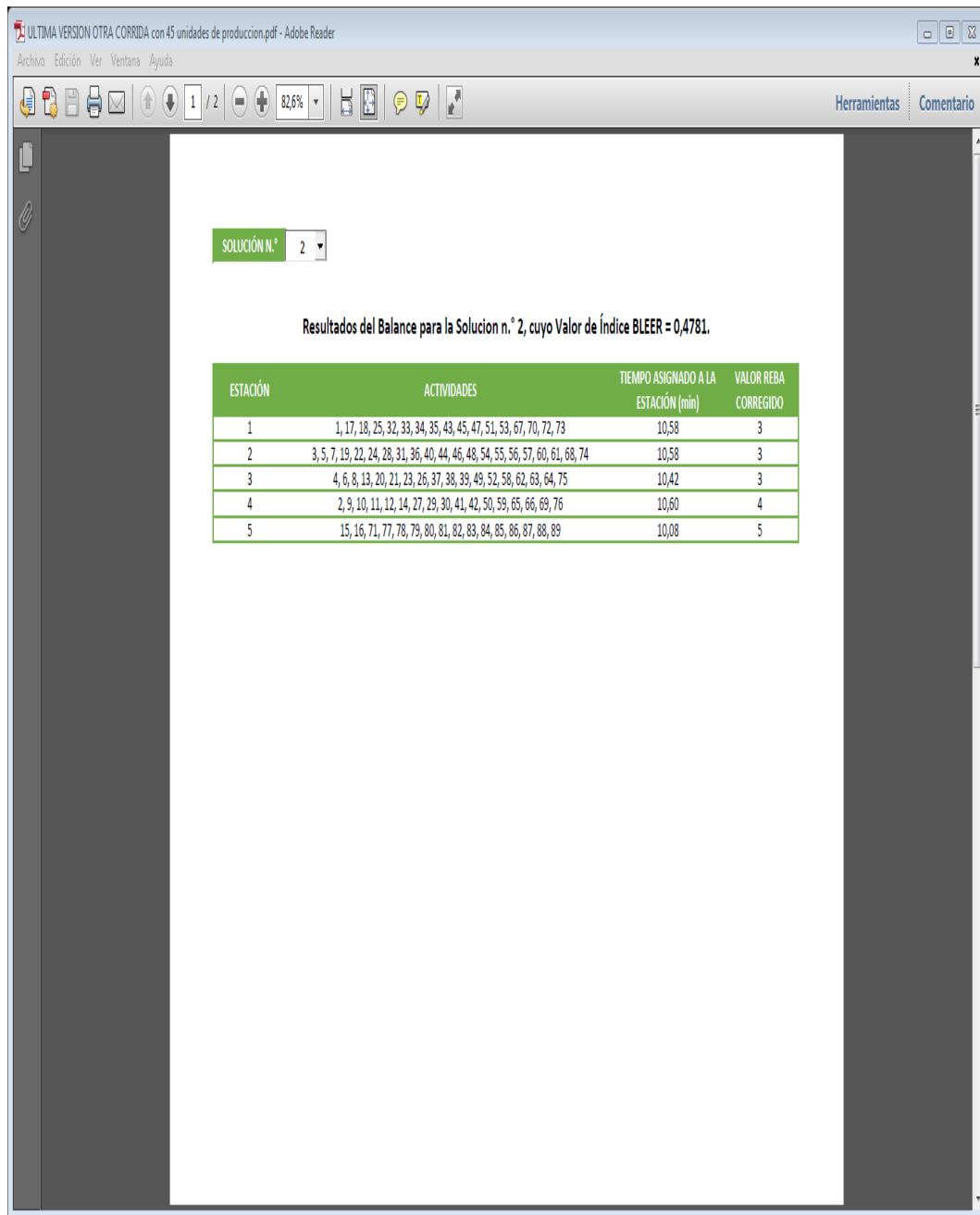
seleccionar la opción inmediatamente se actualiza la información de la solución seleccionada, mostrando la distribución de las actividades por estación así como el tiempo asignado en cada una de ellas y el valor de riesgo biomecánico de cada estación afectado por el tiempo de exposición.

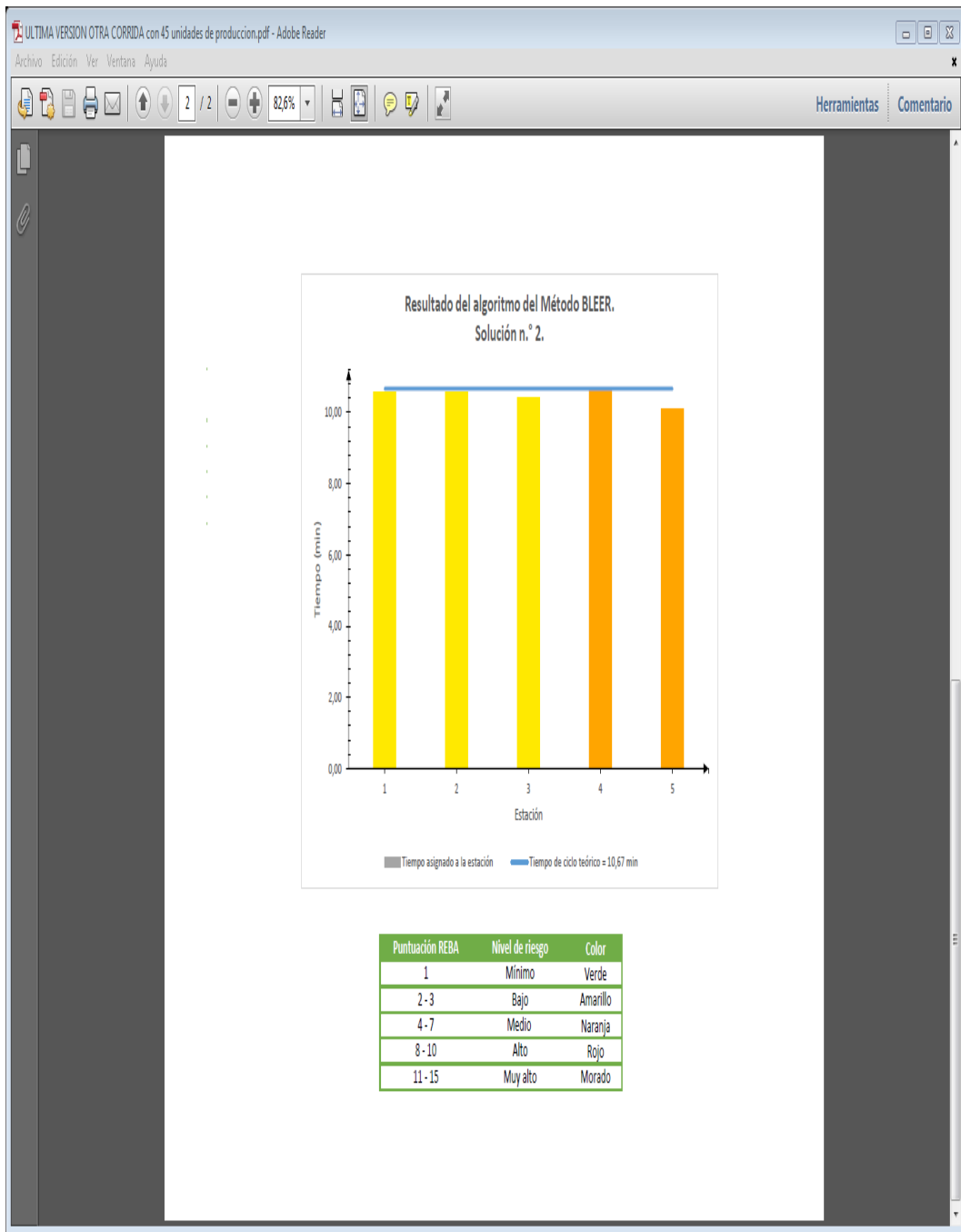
También se actualiza la gráfica que muestra el balance de líneas mostrando los tiempos reales asignados en cada estación comparados con el Tiempo de Ciclo Teórico, en dicha gráfica se muestra además el riesgo biomecánico representado en las barras por el color correspondiente según la escala de riesgo REBA de acuerdo al código de colores que se muestra a continuación:

Nivel de Riesgo REBA y Código de colores

Puntuación REBA	Nivel de Riesgo	Color
1	Mínimo	Verde
2-3	Bajo	Amarillo
4-7	Medio	Naranja
8-10	Alto	Rojo
11-15	Muy Alto	Morado

El botón de Generar PDF que se encuentra en la hoja “salida” le permite al usuario crear un archivo PDF que contiene la información de la solución visualizada actualmente; éste se abre inmediatamente después de presionar el botón. A continuación se muestra un ejemplo de las pantallas que se generan en el archivo pdf.





HOJA DE SOLUCIONES: Se genera también una tercera hoja denominada “soluciones”, en esta hoja el usuario tiene acceso a una tabla dinámica que contiene todas las soluciones obtenidas por el algoritmo. Cada renglón de la tabla corresponde a una solución y viene acompañado de la siguiente información:

- Número de solución.
- Cantidad de estaciones.
- Tiempo de ciclo real.
- Tiempo de ocio.
- Promedio REBA.
- Índice BLEER.

Las soluciones se muestran por orden creciente dado que las mejores soluciones son las que presentan menor índice BLEER. También se muestra el número de estaciones en que se distribuyeron las actividades, dado que este número puede variar entre las diferentes soluciones.

El usuario tiene control absoluto sobre todos los campos de la tabla. Esta condición le brinda la posibilidad de ordenar la información de los campos, según los valores de cada una de las columnas representadas por las variables mencionadas anteriormente. Cualquier proceso de organizar la información en esta tabla no afectará el orden en que se presentan las soluciones de la hoja «Salida». Es importante que el usuario tenga cuidado de no modificar accidentalmente ningún valor que haya sido calculado

por el algoritmo, pues esto haría que la información de una o más soluciones sea ficticia.

ULTIMA VERSION OTRA CORRIDA con 45 unidades de produccion parte 2 - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	SOLUCIÓN	N.º DE ESTACIONES	TCR (min)	TO (min)	RB	ÍNDICE BLEER										
2	1	5	10,60	0,73	3,60	0,4781										
3	2	5	10,60	0,73	3,60	0,4781										
4	3	5	10,67	1,07	3,40	0,4783										
5	4	5	10,60	0,73	3,80	0,4848										
6	5	5	10,67	1,07	3,60	0,4850										
7	6	5	10,67	1,07	3,60	0,4850										
8	7	5	10,67	1,07	3,60	0,4850										
9	8	5	10,67	1,07	3,60	0,4850										
10	9	5	10,67	1,07	3,60	0,4850										
11	10	5	10,67	1,07	3,60	0,4850										
12	11	5	10,67	1,07	3,60	0,4850										
13	12	5	10,60	0,73	4,00	0,4915										
14	13	5	10,60	0,73	4,00	0,4915										
15	14	5	10,60	0,73	4,00	0,4915										
16	15	5	10,67	1,07	3,80	0,4917										
17	16	5	10,67	1,07	3,80	0,4917										
18	17	5	10,67	1,07	3,80	0,4917										
19	18	5	10,67	1,07	3,80	0,4917										
20	19	5	10,67	1,07	3,80	0,4917										
21	20	5	10,67	1,07	3,80	0,4917										
22	21	5	10,67	1,07	3,80	0,4917										
23	22	5	10,67	1,07	3,80	0,4917										
24	23	5	10,67	1,07	3,80	0,4917										
25	24	5	10,67	1,07	3,80	0,4917										
26	25	5	10,67	1,07	3,80	0,4917										
27	26	5	10,67	1,07	3,80	0,4917										
28	27	5	10,60	0,73	4,20	0,4981										
29	28	5	10,60	0,73	4,20	0,4981										
30	29	5	10,60	0,73	4,20	0,4981										
31	30	5	10,67	1,07	4,00	0,4983										
32	31	5	10,67	1,07	4,00	0,4983										

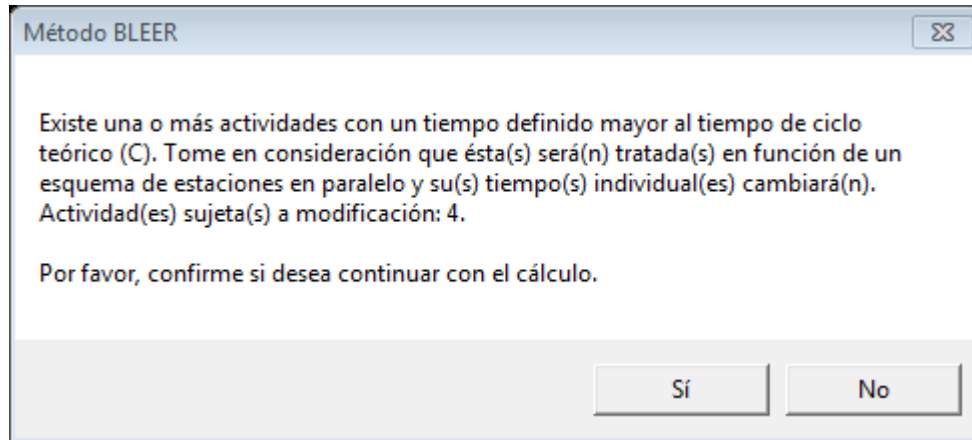
Entrada Salida Soluciones

11) En caso de que desee reiniciar el cálculo en la hoja de “entrada” se proporciona esta opción, al presionar el botón de reiniciar aparece un cuadro de diálogo para

verificar que está seguro del procedimiento y le advierte que de hacerlo se perderá toda la información contenida en las tablas. De indicar que si está de acuerdo, toda la información se borra y aparecen las celdas de entrada de datos de nuevo en blanco para ingresar la nueva información. Si selecciona que no está de acuerdo, vuelve a colocar el cursor en la hoja de entrada, sin alterar ningún dato.

El programa automatizado del método BLEER, permite obtener estaciones en paralelo cuando un tiempo de una actividad excede el tiempo de ciclo teórico (C), en este caso se muestra.

En el ejemplo de teórico explicado en el anexo No. 2, se puede variar el elemento de 4 con un tiempo de 2500 segundos, siendo este tiempo mayor al del tiempo de ciclo teórico 1107,6. En este caso, el programa le pregunta al usuario que confirme si desea continuar con el cálculo, según la ventana anterior, alertando que existe una o más actividades con un tiempo mayor al tiempo de ciclo teórico, al presionar el botón “si” de continuar el cálculo, el algoritmo calcula el número de estaciones:



Al presionar el botón “sí” el algoritmo continúa con la ejecución del programa.

Internamente, lo que realiza el algoritmo en caso de que se introduzca un tiempo de elemento mayor al tiempo de ciclo teórico es calcular lo siguiente:

$$\text{No de estaciones en paralelo} = \frac{\text{Tiempo del elemento}}{\text{Tiempo de Ciclo Teórico}}$$

En este caso sería:

$$\text{No. de estaciones} = 2500 \text{ segundos} / 1107,6 \text{ segundos} = 2500/1107,6 = 2,25$$

El número de estaciones siempre se ajusta hacia arriba, en este caso serían 3 estaciones en paralelo.

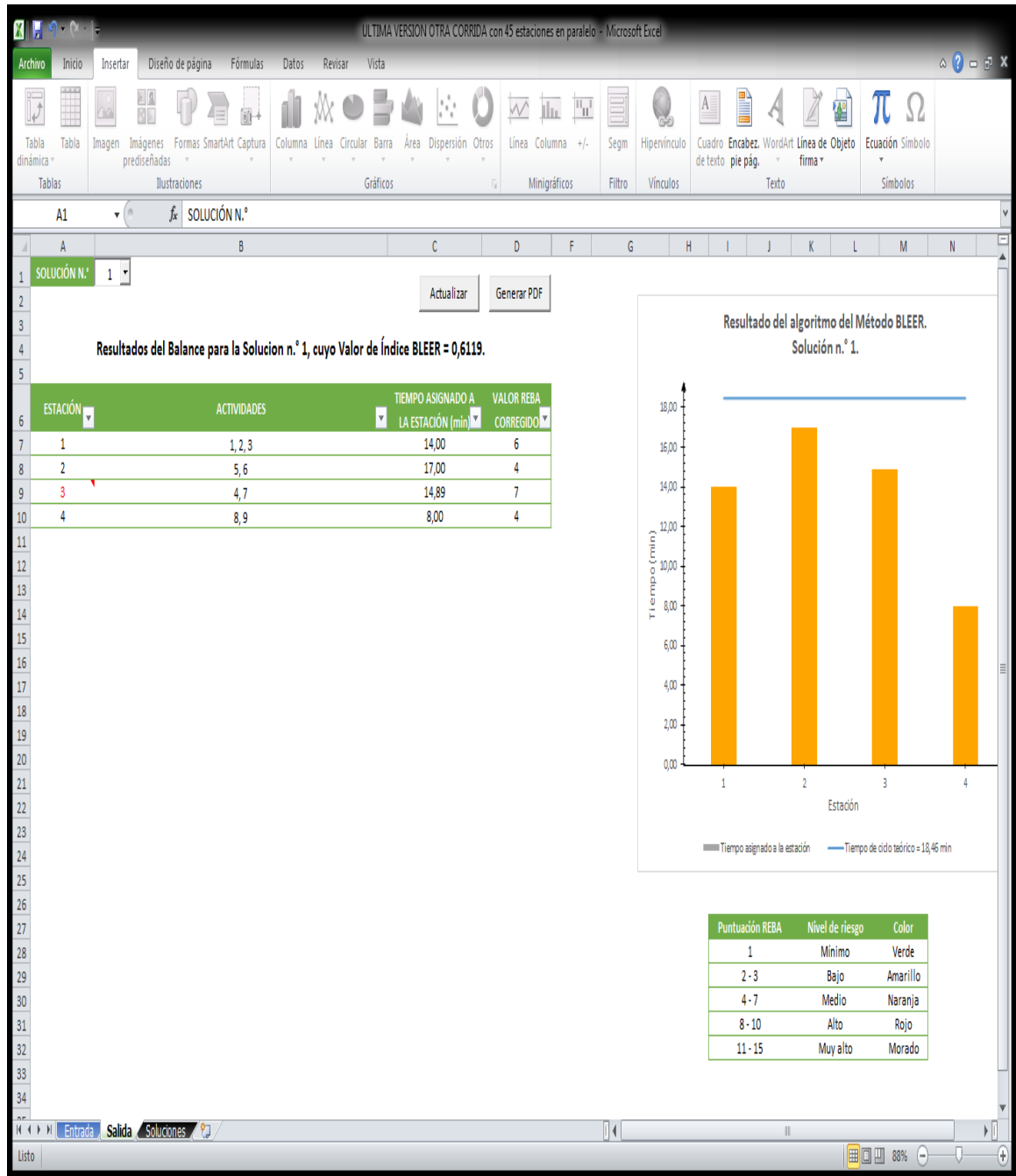
El tiempo del elemento que el algoritmo coloca en la tabla de datos es el siguiente:

Tiempo del elemento en la tabla = tiempo del elemento / número de estaciones

En este caso:

Tiempo del elemento en la tabla = $2500/3 = 833,33$ segundos.

Al ejecutar el algoritmo, se obtienen las soluciones factibles, y en la hoja de salida se denota en la tabla, la estación con el elemento con tiempo mayor al tiempo de ciclo teórico resaltada en rojo, al ubicar el cursor en la flecha roja aparece una nota que señala que se requieren de 3 estaciones en paralelo de esta estación.



ANEXO No 4

Tabla de resultados para la línea de Tapicería

(Hoja de Soluciones)

No. Sol .	N.º DE ESTACIONES	TCR (min)	TO (min)	RB	ÍNDICE BLEER
1	5	10.67	1.07	3.40	0.4783
2	5	10.60	0.73	3.80	0.4848
3	5	10.67	1.07	3.60	0.4850
4	5	10.67	1.07	3.60	0.4850
5	5	10.67	1.07	3.60	0.4850
6	5	10.67	1.07	3.60	0.4850
7	5	10.67	1.07	3.60	0.4850
8	5	10.60	0.73	4.00	0.4915
9	5	10.60	0.73	4.00	0.4915
10	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
11	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
12	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
13	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
14	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
15	5	10.67	1.07	3.80	0.4917

16	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
17	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
18	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
19	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
20	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
21	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
22	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
23	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
24	5	10.67	1.07	3.80	0.4917
25	5	10.58	0.65	4.20	0.4964
26	5	10.60	0.73	4.20	0.4981
27	5	10.60	0.73	4.20	0.4981
28	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
29	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
30	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
31	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
32	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
33	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
34	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
35	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
36	5	10.67	1.07	4.00	0.4983

37	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
38	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
39	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
40	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
41	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
42	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
43	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
44	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
45	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
46	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
47	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
48	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
49	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
50	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
51	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
52	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
53	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
54	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
55	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
56	5	10.67	1.07	4.00	0.4983
57	5	10.58	0.65	4.40	0.5031

58	5	10.60	0.73	4.40	0.5048
59	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
60	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
61	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
62	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
63	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
64	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
65	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
66	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
67	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
68	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
69	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
70	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
71	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
72	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
73	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
74	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
75	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
76	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
77	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
78	5	10.67	1.07	4.20	0.5050

79	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
80	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
81	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
82	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
83	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
84	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
85	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
86	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
87	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
88	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
89	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
90	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
91	5	10.67	1.07	4.20	0.5050
92	5	10.58	0.65	4.60	0.5097
93	5	10.58	0.65	4.60	0.5097
94	5	10.60	0.73	4.60	0.5115
95	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
96	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
97	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
98	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
99	5	10.67	1.07	4.40	0.5117

100	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
101	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
102	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
103	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
104	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
105	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
106	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
107	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
108	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
109	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
110	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
111	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
112	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
113	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
114	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
115	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
116	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
117	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
118	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
119	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
120	5	10.67	1.07	4.40	0.5117

121	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
122	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
123	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
124	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
125	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
126	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
127	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
128	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
129	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
130	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
131	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
132	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
133	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
134	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
135	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
136	5	10.67	1.07	4.40	0.5117
137	5	10.58	0.65	4.80	0.5164
138	5	10.58	0.65	4.80	0.5164
139	5	10.58	0.65	4.80	0.5164
140	5	10.60	0.73	4.80	0.5181
141	5	10.60	0.73	4.80	0.5181

142	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
143	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
144	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
145	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
146	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
147	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
148	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
149	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
150	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
151	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
152	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
153	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
154	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
155	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
156	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
157	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
158	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
159	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
160	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
161	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
162	5	10.67	1.07	4.60	0.5183

163	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
164	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
165	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
166	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
167	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
168	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
169	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
170	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
171	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
172	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
173	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
174	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
175	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
176	5	10.67	1.07	4.60	0.5183
177	5	10.60	0.73	5.00	0.5248
178	5	10.60	0.73	5.00	0.5248
179	5	10.67	1.07	4.80	0.5250
180	5	10.67	1.07	4.80	0.5250
181	5	10.67	1.07	4.80	0.5250
182	5	10.67	1.07	4.80	0.5250
183	5	10.67	1.07	4.80	0.5250

184	5	10.67	1.07	4.80	0.5250
185	5	10.67	1.07	4.80	0.5250
186	5	10.67	1.07	4.80	0.5250
187	5	10.67	1.07	4.80	0.5250
188	5	10.67	1.07	4.80	0.5250
189	5	10.67	1.07	4.80	0.5250
190	5	10.67	1.07	4.80	0.5250
191	5	10.67	1.07	4.80	0.5250
192	5	10.67	1.07	4.80	0.5250
193	5	10.67	1.07	5.00	0.5317
194	5	10.67	1.07	5.00	0.5317
195	5	10.67	1.07	5.00	0.5317
196	5	10.67	1.07	5.20	0.5383
197	5	10.67	1.07	5.20	0.5383
198	6	10.60	11.33	4.33	0.6516